

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA MATURATION OSSEUSE PAR LA RADIOGRAPHIE DU POIGNET

THÈSE

présentée

A LA FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

et soutenue publiquement le 25 Juin 1963

pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

par

Monique DEPLAGNE

née le 28 mars 1934 à LYON (Rhône)

Imprimerie EMMANUEL VITTE

177, Avenue Félix-Faure, LYON

1963

**CONTRIBUTION A L'ÉTUDE
DE LA MATURATION OSSEUSE
PAR LA RADIOGRAPHIE DU POIGNET**

FACULTÉ MIXTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Année 1963

N° 127

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA MATURATION OSSEUSE PAR LA RADIOGRAPHIE DU POIGNET

THÈSE

présentée

A LA FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

et soutenue publiquement le 25 Juin 1963

pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

par

Monique DEPLAGNE

née le 28 mars 1934 à LYON (Rhône)

Imprimerie EMMANUEL VITTE

177, Avenue Félix-Faure, LYON

1963

PROFESSEURS HONORAIRES

M. J. LÉPINE, Doyen Honoraire, Membre de l'Institut. - M. H. HERMANN, Doyen, Correspondant de l'Institut.
MM. M. LEVRAT, Assesseur. - L. REVOL, Assesseur.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. COLLET, GUIART, PATEL, LÉPINE, TRILLAT, MOURIQUAND, MAZEL, GARIN, GATÉ, MARTIN,
GABRIELLE, SANTY, DUCLOS, GUILLEMINET.

MM.

BERMANN	Physiologie A.
CIBERT	Clinique urologique.
PONTHUS	Physique biologique
(détaché à Beyrouth)	
DECHAUME	Clinique neuro-psychiatrique et hygiène mentale.
ROCHET	Thérapeutique chirurgicale et chirurgie opératoire.
CHAMBON	Chimie organique et toxicologie.
WERTHEIMER	Clinique chirurgicale B.
P.-RAVAULT	Clinique médicale B.
FROMENT	Clinique et prophylaxie cardiovasculaires.
CROIZAT	Clinique médicale C.
ENSELME	Chimie biologique et médicale.
MALLET-GUY	Clinique chirurgicale A.
REVOL	Pharmacie galénique et matière médicale.
POLLOSSON	Clinique gynécologique.
PIGEAUD	Clinique obstétricale.
BOURRET	Médecine du travail.
LEVYAT	Clinique médicale A.
SOHIER	Hygiène et action sanitaire et sociale.
BERNHEIM	Clinique médicale infantile et hygiène du premier âge.
JOURDAN	Biologie médicale et pharmacodynamie.
NETIEN	Botanique et cryptogamie.
BERTRAND	Clinique chirurgicale C.
BADINAND	Chimie analytique pharmacut.
DREYON	Pharmacie chimique et pharmacologie.
ROCHE	Médecine légale et déontologie.
COUDERT	Parasitologie et pathologie exot.

PROFESSEURS

MOUNIER-KUHN	Clinique d'oto-rhino-laryngologie et d'audio-phonologie.
PAUFIQUE THIERS	Clinique ophtalmologique.
BRUN CREYSEL	Clinique de dermatologie, syphiligraphie et allergologie.
DARGENT GUICHARD GIRARD Paul	Clinique de pneumo-phthisiologie.
LATARJET PEYCELON GIRARD Marcel VACHON GALLY	Clinique traumatologique des membres.
PAPILLON JEUNE GONIN	Clinique carcinologique.
MONNET BANSSILLON	Anatomie pathologique.
CHATONNET GUINET Paul TRILLAT FREIDEL Charles MARION J.	Pathologie générale et expérimentale.
DORCHE	Anatomie.
X....	Pathologie chirurgicale.
	Thérapeutique.
	Pathologie médicale.
	Physio-pathologie des voies respiratoires.
	Radiologie.
	Clinique des maladies infectieuses.
	Hydrologie thérapeutique, climatologie et écologie sociale.
	Bactériologie.
	Physiologie et pathologie obstétricales.
	Physiologie B.
	Clinique endocrinologique.
	Clinique de chirurgie orthopéd.
	Clinique stomatologique.
	Clinique de chirurgie et d'orthopédie infantiles
	Matière médicale et législation pharmacétique.
	Histologie et embryologie.

PROFESSEURS A TITRE PERSONNEL

BERGER	Physique nucléaire appliquée à la médecine.
BERTOYE	Bactériologie.

CIER J.-François Physiologie.
MANSUY Chirurgie générale.

Professeurs en surnombre :

SARROUY	Pédiatrie et Puériculture
LACROIX	Climatologie
GOINARD	Thérapeutique chirurgicale

LIARAS	Propédeutique chirurgicale
COLLET	Chimie pharmaceutique

PROFESSEURS SANS CHAIRE

ROMAN	Parasitologie.
CIER André	Pharmacie chimiq. et pharmacol.
PERROT	Chimie organique et toxicologie.

DUMONT Louis	Histologie et embryologie.
FEROLDI	Anatomie pathologique.
MORET Robert	Physique biologique.

MAITRES DE CONFÉRENCES-AGRÉGÉS

LEQUIRE	Neuro-chirurgie.
REVOL Louis	Médecine générale.
CREYSSER Roger	Chimie biologique et médicale.
THIVOLET Jean	Hygiène.
GARIN Jean-Paul	Parasitologie.
PILOT François	Médecine du travail.
PINET	Electro-radiologie.
DESPIERRES C.	Médecine générale.
ODDOUX Lucien	Botanique et cryptogamie.
DE SOLLIERS	Chimie analytique.
LEJEUNE	Médecine génér. et thérapeutique.
REBOUILLAT	Chirurgie générale.
BUFFARD	Electro-radiologie.
ROMAGNY	Pédiatrie.
DE MOURGUE F.	Stomatologie.

DUROUX Emile	Anatomie.
BOUCHET Alain	Anatomie.
BRETTE René	Thérapeutique.
TOMMASI Michel	Anatomie pathologique.
RIFPAT Georges.	Hygiène.
JOUVET Michel	Pathologie expérimentale.
FAVRE-GILLY J.	Hématologie.
GIROD	Histologie et embryologie.
MALLEIN René	Chimie analytique.
GRAS Jean	Chimie biologique.
PEYRIN J.-Olivier	Physique biologique.
VIALIER-RAYNARD	Bactériologie.
FAUCON	Biologie médicale et pharmacodynamie.
FLANDROIS	Physiologie.

AGRÉGÉS EN EXERCICE

PONT Maurice	Médecine générale.
VIGNON G.	Médecine générale.
PLAUCHU Marcel	Médecine générale.
TRAEGER Jules	Médecine générale.
DEVIC Michel	Médecine générale.
GARDE A.	Médecine générale.
PERRIN André	Médecine générale.
LARBRE François	Médecine générale.
MORNEX René	Médecine générale.
NORMAND Jean	Médecine générale.
FRIES	Médecine générale.
LAMBERT	Médecine générale.
NOEL Gilbert	Médecine générale.
ROBERT	Médecine générale.
MARION Pierre	Chirurgie générale.
MICHAUD Pierre	Chirurgie générale.
J. DE BRAUJEU	Chirurgie générale.
SAUTOT Jean	Chirurgie générale.
GUILLEMIN G.	Chirurgie générale.
DE MOURGUES G.	Chirurgie générale.
FRANCHILLON J.	Chirurgie générale.
SAUBIER Eugène	Chirurgie générale.
MARET Gilbert	Chirurgie générale.

DESCÔTES J.	Chirurgie générale.
MICHOULIER	Chirurgie générale.
BURTHIAULT R.	Obstétrique.
DUMONT Martial	Obstétrique.
GAMIER	Obstétrique.
GIGNOUX Marcel	Oto-rhino-laryngologie.
GAILLARD Jean	Oto-rhino-laryngologie.
FRANÇOIS René	Pédiatrie et puériculture.
BETHENOD	Pédiatrie et puériculture.
COLOMB Daniel	Dermatologie.
COLIN Marcel	Médecine légale.
GUYOTAT Jean	Neuro-psychiatrie.
SCHOTT Bernard	Neuro-psychiatrie.
BONAMOUR G.	Ophtalmologie.
HUGONNIER R.	Ophtalmologie.
DURAND Louis	Urologie.
CHASSARD J.-L.	Electro-radiologie.
ALLÈGRE G.	Neuro-chirurgie.
FAYSE Robert	Orthopédie.
SCHNEPP	Orthopédie.
KALB J.-Claude	Pneumo-ptisiologie.
DUMAS P.	Stomatologie.

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

MM. le Pr FREIDEL, *Président*; VIGNON, SCHOTT, DUMAS, *assesseurs*.

A MES PARENTS

A MON MARI

A MES BEAUX-PARENTS

A MA FAMILLE

A MES AMIS



Digitized by the Internet Archive
in 2026

A NOTRE MAITRE ET PRESIDENT DE THESE

MONSIEUR LE PROFESSEUR CH. FREIDEL

Professeur de Clinique Stomatologique

Nous regrettons de n'avoir pas eu l'honneur et le plaisir d'être son externe, mais nous avons pu, en de nombreuses circonstances, mesurer l'admiration qu'ont ses élèves devant sa haute compétence chirurgicale, son enseignement très vivant, sa largeur de vue et les grandes qualités humaines qu'il déploie auprès de ses élèves et de ses malades.

Nous sommes très sensible à l'honneur qu'il nous fait en acceptant de présider notre jury de thèse. Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de notre entière gratitude.

A NOS MAITRES ET JUGES

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ G. VIGNON

Un semestre d'externat passé dans son Service nous a permis d'apprécier sa bienveillance et sa courtoisie à l'égard de son entourage. Nous avons admiré le dynamisme et l'enthousiasme dont il fait preuve en toutes circonstances.

Nous avons été heureuse de bénéficier de son enseignement clair et précis qui demeure pour nous un guide précieux, tant en rhumatologie qu'en médecine générale.

Nous le remercions vivement de l'honneur qu'il nous fait en acceptant de faire partie de notre jury de thèse.

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ B. SCHOTT

Nous gardons un excellent souvenir du semestre passé dans son Service où nous avons pu apprécier l'étendue de sa culture médicale, humaine et artistique, l'ouverture de son esprit à tous les problèmes et sa grande bonté vis-à-vis de ses élèves et de ses malades.

Nous avons été très touchée de la sympathie qu'il nous a toujours manifestée et lui exprimons ici toute notre reconnaissance.

Nous sommes particulièrement heureuse qu'il ait accepté de faire partie de notre jury de thèse et nous l'en remercions vivement.

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ P. DUMAS

Ce sont nos amicales relations qui nous ont autorisée à lui demander de bien vouloir faire partie de notre jury de thèse.

Nous avons pu, en maintes circonstances, apprécier l'étendue de sa culture générale et nous savons quelles sont ses qualités de clinicien et de chirurgien, quelle est l'élégante clarté et la précision de son enseignement.

Nous le remercions sincèrement d'avoir bien voulu accepter de nous juger.

A NOS MAITRES DANS LES HOPITAUX

Externat :

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ R. DESJACQUES

MONSIEUR LE PROFESSEUR M. GUILLEMINET

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ B. SCHOTT

MONSIEUR LE PROFESSEUR J. DECHAUME

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ Ch. CLAVEL (*In memoriam*)

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ G. VIGNON

A NOS MAITRES

MONSIEUR LE PROFESSEUR R. JOSSERAND (*In memoriam*)

MONSIEUR LE DOCTEUR Ch. GODINOT

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ R. FAYSSÉ

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ J. SCHNEPP

MONSIEUR LE DOCTEUR J. DESBROSSES

MONSIEUR LE DOCTEUR G. BOULLIAT

MONSIEUR LE DOCTEUR M. MEGARD

MONSIEUR LE DOCTEUR J. MAITREPIERRE

MONSIEUR LE DOCTEUR G. AIMARD

SOMMAIRE

HISTORIQUE.

GÉNÉRALITÉS.

Les indicateurs de croissance.

Les indicateurs de maturation.

INTÉRÊT DE LA DÉTERMINATION DE LA MATURATION OSSEUSE.

I. — En pédiatrie et en Auxo-endocrinologie.

II. — En orthopédie générale.

III. — En orthopédie dento-maxillo-faciale.

INTÉRÊT DE LA COMPARAISON DES DIFFÉRENTS « AGES ».

Age civil, Age statural, Age osseux (prédiction de la taille).

Age civil, Age osseux, Age dentaire (étiologie de lésions maxillo-faciales).

FACTEURS INFLUENÇANT LA CROISSANCE ET LA MATURATION OSSEUSE.

Facteur génétique.

Facteur hormonal.

Facteurs d'environnement (nutritionnels).

Facteurs pathologiques.

LES DIFFÉRENTES MÉTHODES D'ÉVALUATION DE LA MATURATION OSSEUSE.

Classification.

Méthode qualitative (GREULICH et PYLE, CL.-C. HOWARD).

Méthode quantitative (SONTAG, ELGENMARK, LEFÈVRE et KOIFMANN).

Méthode chronologique (WILKINS, VICKERS-HARDING).

Méthode descriptive (GREULICH et PYLE, ACHESON, TANNER).

Méthode métrique (SCHMID et MOLL).

Méthode mixte (JEANNERET, CHATEAU).

DISCUSSION ET CRITIQUE DES DIFFÉRENTES MÉTHODES.

COMPARAISON DES RÉSULTATS.

PRÉSENTATION DE NOTRE TRAVAIL PERSONNEL.

Radiographie du poignet entre 5 et 11 ans.

Radiographie du coude de profil et du pied.

Résultats.

CONCLUSIONS.

BIBLIOGRAPHIE.

HISTORIQUE

De la naissance jusqu'à l'âge adulte, le système osseux subit toute une série de transformations. Ces transformations se font dans un ordre déterminé, et depuis longtemps les anatomistes ont observé l'existence d'une relation étroite entre le degré de maturation squelettique et l'âge pendant l'enfance et l'adolescence.

La première étape de cette étude fut celle de la *description anatomique*, magistralement rappelée par RAMBAUD et RENAULT dans leur livre « Origine et développement des os », en 1864. Citons simplement les noms de FALOPPE, A. PARE, V. COITER, RIOLAN, KERKRINGE.

Mais avec la découverte de ROENTGEN en 1895, l'étude de l'ostéogénèse est entrée dans une nouvelle phase : elle n'est plus limitée par les dissections, car les Rx ont permis une étude *in vivo* des différentes étapes de la croissance.

Les anciennes données des anatomistes, les termes mêmes qu'ils employaient ont dû être interprétés à la lecture des radiographies (travaux de STEVENSON et PATERSON), car certains centres d'ossification non ou peu calcifiés peuvent être parfaitement évidents à la dissection mais échapper à l'examen radiographique.

Depuis une cinquantaine d'années, la radiographie systématique a pris place parmi les méthodes d'évaluation de la croissance, mais les premiers auteurs : Allemands, Suédois, puis Américains, ont travaillé à partir d'un matériel généralement peu important, en explorant une seule articulation, ne tenant souvent pas compte du sexe et mêlant dans leur enquête des enfants à croissance normale et des cas pathologiques.

En 1946, ELGENMARK, dans son livre sur « Le développement normal des centres d'ossification pendant l'enfance », a passé en revue tous les travaux qui avaient été publiés à ce jour. Nous lui empruntons quelques éléments de ce bref rappel historique.

Dès 1899, VON WYSS note qu'il existe un rapport entre la taille et l'ossification, mais il ne fonde ses conclusions que sur quelques cas pathologiques. La même année, HAHN publie une étude sur les radiographies de l'extrémité supérieure du tibia chez les nouveau-nés et constate que ce centre n'existe que si le nouveau-né mesure au moins 49 cm ; il conclut donc qu'il existe un rapport très étroit entre la taille et l'apparition des centres d'ossification.

En 1910, HOLMGREN, à propos d'une étude radiographique de la main chez des enfants porteurs de goitre exophtalmique, trouve une correspondance étroite entre la taille et le degré d'ossification : « Chez les personnes de même âge, l'ossification est d'autant plus avancée que l'individu est plus grand », « Les plus âgés de petite taille ont souvent le même développement que les plus jeunes de grande taille ». L'auteur pense que la taille et le degré d'ossification sont tous les deux sous le contrôle de l'hormone thyroïdienne. HASSEL-WANDER en 1909, arrive aux mêmes conclusions en étudiant les radiographies du pied chez 521 sujets de 7 à 35 ans. Cet auteur, de plus, fait des recherches pour savoir s'il existe un rapport entre ossification et état de nutrition mais sans arriver à des conclusions affirmatives.

AKERLUND, à partir de l'étude des radiographies de la main, du coude, du pied de 28 garçons et 28 filles de 8 à 14 ans, choisis parmi des enfants bien portants, établit des tables de maturation osseuse en fonction de l'âge et compare la taille et le stade d'ossification : il trouve que ces deux facteurs évoluent parallèlement. Cet auteur note aussi une avance considérable des enfants venant des classes sociales favorisées, et trouve que les enfants de santé les plus robustes sont aussi ceux dont le développement squelettique est le plus en avance.

STETTNER, en 1921, fait une étude sur des enfants de la naissance à 12 ans (203 garçons et 212 filles), il cherche une corrélation entre ces trois facteurs : âge, taille, degré d'ossification. L'auteur ne constate pas de rapport direct entre l'âge et la maturation squelettique, ni entre la taille et la maturation, sinon les individus de grande taille atteindraient leur pleine maturation avant les individus de petite taille. L'auteur démontre que le taux de croissance est variable selon les âges et qu'ainsi les enfants en avance pendant leur enfance peuvent se laisser rattraper par les enfants plus petits au moment de la puberté (ces derniers ayant eu une croissance lente mais continue) pour les distancer par la suite.

L'auteur trace aussi un parallélisme entre les enfants des classes moyennes, des classes ouvrières et paysannes : il conclut que le niveau de vie plus élevé des classes moyennes entraîne une meilleure différenciation squelettique. STETTNER note aussi l'avance des filles sur les garçons du point de vue maturité osseuse.

SAWTEL (1929) étudie lui aussi les rapports entre taille, poids et développement osseux chez 112 enfants âgés de moins de 8 ans.

STUART et VICKERS (1936), sur les radiographies de la main d'enfants de moins de 5 ans, observent des irrégularités dans le processus d'ossification, avec des phases de stagnation et des phases d'accélération, mais les auteurs ne donnent pas l'explication de ces phénomènes.

PRYOR, en 1928, fut le premier à déterminer de façon certaine l'avance des filles sur les garçons et à mettre en évidence la nécessité d'établir des critères séparés pour chaque sexe. Il établit qu'il peut y avoir des variations dans l'ordre d'apparition des os, variations d'origine héréditaire.

CHRISTIE, DUNHAM, JENSS, DIPPEL (1941), étudiant 1 107 enfants nouveau-nés (563 de race blanche et 544 Noirs) trouvent eux aussi qu'il existe un rapport direct entre la taille et la différenciation osseuse : le cuboïde est présent chez 22 % des enfants qui mesurent moins de 47 cm à la naissance, chez 57 % de ceux mesurant entre 47 et 49 cm, et chez 71 % de ceux qui mesurent plus de 50 cm. Du point de vue de la différence ethnique, les auteurs trouvent une nette avance des enfants noirs sur les enfants blancs.

C.-C. FRANCIS (1939) a notamment fait des études sur les facteurs influençant l'ossification et a mis l'accent sur l'importance des troubles métaboliques et constitutionnels, aussi bien sur les courbes de taille et de poids que dans les dates d'apparition des centres osseux. Cet auteur a insisté sur l'importance des sels minéraux et sur le rôle de la vitamine C dans le processus d'ossification.

Certains auteurs ont leur place dans l'historique, mais l'importance de leurs travaux fait que nous préférons les étudier au cours des différents chapitres. C'est ainsi que nous citerons :

C.-C. HOWARD (1928), DE COSTER (1938), FLORY (1936), TODD (1937), KELLY (1937), SONTAG, SNELL, ANDERSON (1939), VOGT,

VICKERS (1938), COFFEY (1945), GREULICH et PYLE (1950),
BAYLEY (1950), ACHESON (1954), LEFÈVRE, KOIFMANN (1956),
WILKINS (1957), JEANNERET (1960), SCHMID, MOLL (1960),
TANNER (1960), etc..

GENERALITES

Il nous faut d'abord définir de façon précise les différents termes employés.

La croissance est le processus anabolique qui en multipliant les cellules d'un organisme et d'une manière plus évidente celles du squelette, se traduit cliniquement par une augmentation de la *taille* et du *poids* et, métaboliquement, par une rétention d'eau, d'azote, d'électrolytes (BAMATER).

Le *développement*, qui est en général parallèle à la croissance, comprend la différenciation morphologique et la spécialisation fonctionnelle des différentes parties de l'organisme, notamment la *maturation osseuse*. Cette dernière est « l'appréciation des degrés successifs de maturité du squelette effectuée à l'aide de radiographies qui, suivant l'âge, montrent successivement l'apparition de *centres d'ossification primaires* (point diaphysaire des os longs, os courts) et *secondaires* (épiphyses des os longs), les modifications de leurs formes et de leurs dimensions, et enfin les soudures diaphyso-épiphysaires (O. JEANNERET).

D'après de nombreux travaux d'endocrinologues, on ne peut affirmer que l'apparition des centres d'ossification d'une part, la fusion diaphyso-épiphysaire de l'autre, soient sous la régulation des mêmes hormones, mais la dissociation de ces deux phénomènes semble être uniquement le fait de cas pathologiques (hypogonadismes, myxo-œdème), et dans les cas normaux les auteurs estiment que ce sont deux phases d'un même processus général : la maturation osseuse.

Nous allons étudier quels sont les faits cliniques, aisément mesurables, qui nous permettent de définir la croissance et la maturation.

LES INDICATEURS DE CROISSANCE

1) LA TAILLE : sa mesure est la plus simple, la plus classique, elle sert de références à toutes les recherches ; moins sujette à variation que le poids, elle sert de critère de base au pédiatre, à l'auxo-endocrinologue, à l'anthropologiste (MARTIN R., 1928) et aux classifications typologiques de l'adulte (M. BARBARA, 1955).

« On distingue quatre étapes dans la croissance normale. Au cours des deux premières années, la taille passe de 50 à 85 cm. Au-delà de la deuxième année, la taille augmente de 5 à 7 cm par an. Dans une troisième période, dite prépubertaire, il y a de nouveau une accélération concomitante de l'apparition des caractères sexuels secondaires. Enfin, la puberté une fois installée, la croissance continue encore, mais très lentement, jusqu'à l'ossification totale des cartilages de conjugaison. Elle se termine à 21 ans chez la fille et à 23 ans chez le garçon. » (R. FRANÇOIS, R. GILLY.)

On admet qu'il existe un retard ou une avance de croissance lorsque la taille est inférieure ou supérieure de 10 % ou plus à la taille moyenne d'un sujet de même âge.

2) LE POIDS, « caractère encore plus composite que la taille » (SCHOLLER, 1956). Ses variations sont soumises à de si nombreux facteurs que sa valeur d'indicateur de croissance est contestable, bien qu'elle signe l'augmentation de la masse.

3) LA SURFACE CORPORELLE est très employée actuellement par les auxo-endocrinologues et les pédiatres (P^r M. LELONG).

Mais les indicateurs de croissance n'ont qu'une valeur relative en ce sens que les enfants deviendront des adultes de taille et de poids variables ; ainsi, si un enfant de 10 ans est de grande taille, on ne sait s'il s'agit d'un enfant en avance sur les enfants de son âge ou si cet enfant de grande taille se transformera en un adulte de grande taille lui aussi. Il subsiste toujours une inconnue, alors que les enfants atteindront tous, à une cadence variable, le *même* degré de maturation.

Quelle que soit la taille, un enfant de 10 ans dont la maturation squelettique est celle d'un enfant de 12 ans est en avance, et cela de façon absolue.

LES INDICATEURS DE MATURATION

Nous citerons simplement les critères :

- Psychologiques,
- Neurologiques,
- Biochimiques.

Tous signes qu'il n'est pas de notre propos de détailler.

— Des critères *morphologiques* tels que les différents indices *anthropométriques* : ces indices ont l'avantage d'être indépendants de la taille, mais aussi l'inconvénient de dépendre du type constitutionnel (O. JEANNERET, E. HAUSSER, L. PAUNIER, 1954).

- Rapport entre segments inférieur et supérieur du corps suivant l'âge.
- Rapport entre diamètre transversal et antéro-postérieur du thorax.
- Entre périmètre crânien et thoracique.

Rapports dont se servent notamment le P^r LELONG et ses collaborateurs.

- Indice crânien (rapport entre les diamètres bi-pariétal et fronto-occipital) permettant de classer les individus en :
dolycéphale,
mésaticéphale,
brachycéphale ;
- Indice facial (rapport entre la hauteur faciale et le diamètre bi-zygomatique) donnant la classification suivante :
euryprosope,
mésoprosope,
leptoprosope,

dont se servent les anthropologistes et les orthodontistes.

— Des *critères dentaires*. Le développement des dents est considéré comme un symptôme important pour juger du développement général (C.-C. HOWARD, L. DE COSTER), tout en étant moins sensible que le tissu osseux aux facteurs extrinsèques et intrinsèques (hormonaux et métaboliques) (FRANCONI, 1956, PRADER (A.), PERABO, 1952).

Pour déterminer ce développement, il existe des méthodes utilisant

l'éruption dentaire, telles que les tables de l'anthropologiste tchèque MARTIEGKA et les tables de LUSAKOWA, donnant pour chaque sexe l'âge d'éruption des différentes dents, ou encore les méthodes basées sur la date de calcification des couronnes, méthode peut-être plus exacte mais d'utilisation moins aisée, puisqu'elle nécessite des radiographies (DEMISCH A., WARTMANN P., 1956 ; SCHOUR et MASSLER, BRADY).

— *Des signes pubertaires* : apparition des caractères sexuels primaires et secondaires qui s'accompagnent de toute une série de modifications physiologiques et morphologiques ; ces transformations ont une incidence sur la croissance (accélération dans la phase prépubertaire, ralentissement après la puberté) et la maturation corporelle générale.

Par leurs expériences, PAPANICOLAOU et FALK ont montré que les substances androgéniques avaient un effet spécifiquement stimulant sur les animaux de laboratoire, confirmant ainsi les données de la clinique.

Ces caractères sexuels peuvent être évalués selon des notations précises (SCHOLLER, TANNER, Oxford, 1955).

— *Des critères osseux* : si les caractères sexuels primaires et secondaires permettent l'évaluation du degré de développement général pendant l'adolescence, le développement du squelette qui est aussi un très fidèle témoin de la différenciation tissulaire est valable sur une période beaucoup plus étendue : de la naissance à la fin de l'adolescence (les dernières soudures diaphyso-épiphysaires se produisant vers 18-20 ans, parfois même 22 ans).

GREULICH et PYLE ont insisté sur les nombreux avantages de la détermination de l'« âge osseux » :

« Les changements associés à la maturité progressive sont aisément visibles sur les radiographies ;

— ils ont une succession ordonnée ;

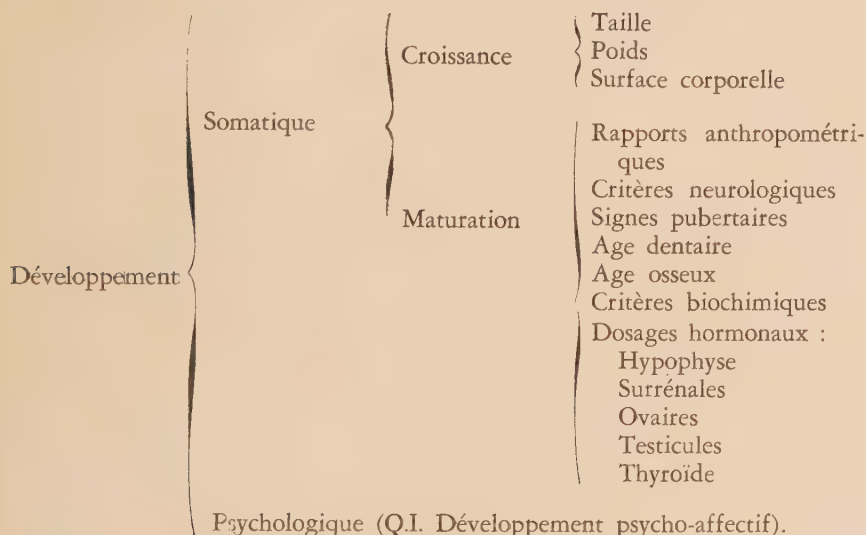
— ils couvrent la période entière de la naissance au début de l'âge adulte ;

— ils permettent la comparaison directe des enfants sans considération des différences d'origine ou autre ;

— les variations de développement du squelette sont intimement liées à celles du système reproducteur qui, à leur tour, son directement

responsables de la plupart des changements perceptibles extérieurement sur lesquels on base généralement l'évaluation de la maturité corporelle générale. »

Soit, en résumé :



Un tel bilan permet chez un enfant, à un âge donné, d'affirmer si la croissance est normale, augmentée ou diminuée dans les limites physiologiques ou, au contraire, si le retard et l'avance sont du domaine de la pathologie.

De plus, la comparaison des bilans réalisés à quelque temps d'intervalle met en relief la notion de *vitesse de croissance* : devant un retard de croissance, si on se trouve en présence d'une vitesse de croissance lente mais constante, « parallèle au développement moyen », on pourra parler de retard « constitutionnel » ; à l'opposé, la vitesse de croissance peut s'accélérer ou se ralentir, témoignant d'un trouble organique possible (P. BORNICHE).

Citons, pour terminer ce chapitre, l'opinion de BOAZ : « Il est vrai qu'il existe une étroite collaboration entre le stade du développement physiologique des différentes parties du corps. La corrélation est si étroite que la condition des os ou celle de la puberté nous renseigne davantage sur le développement de l'individu que son âge civil. »

INTERET DE LA DETERMINATION DE LA MATURATION OSSEUSE

En médecine et chirurgie infantile, la détermination de la maturation osseuse est d'un intérêt capital. Comme le soulignaient PETERMAN, FREY, KASTER, la radiographie du poignet est un examen complémentaire souvent nécessaire dans un service de pédiatrie ; ses indications sont nombreuses.

I. — EN PEDIATRIE ET EN AUXO-ENDOCRINOLOGIE

L'importance de la détermination de l'âge osseux en pédiatrie a été soulignée par de nombreux auteurs; citons en particulier WILKINS (L.), GREULICH (W.-W.), DORFMAN (R.-I.), FRANCIS (C.-C.)... car elle permet de mesurer l'état de santé constitutionnelle de l'enfant et son degré de maturation somatique. La comparaison entre l'âge légal et l'âge squelettique de l'enfant permet de déceler les retards et les avances d'ossification. Précisons que l'on parle de retard ou d'avance staturale lorsque la taille diffère de 10 % ou plus de la moyenne, mais qu'un arrêt presque total pendant un an doit inquiéter, même si la taille n'est pas de 10 % au-dessous de la moyenne (F. FRANÇOIS, R. GILLY). L'âge squelettique doit s'écarter de 18 à 24 mois de l'âge civil pour que le décalage soit considéré comme pathologique.

Nous allons passer rapidement en revue les cas où le pédiatre et l'endocrinologue seront amenés à déterminer l'âge squelettique de l'enfant :

a) LES RETARDS DE CROISSANCE.

« L'interrogatoire précis, l'examen clinique méthodique, la détermination de l'âge osseux, la comparaison des trois âges : statural, osseux et chronologique constituent les données de base de tout retard de croissance : l'analyse soigneuse de ces quatre données est la

meilleure orientation du diagnostic étiologique (R. FRANÇOIS, R. GILLY). Il peut s'agir des :

1. *Nanismes métaboliques des cardiopathies* congénitales, des *pneumopathies chroniques*, des *troubles digestifs chroniques* (malformations de l'appareil digestif ou troubles de l'absorption intestinale, insuffisance pancréatique, atteinte hépatique, syndrome de Mauriac). Le *nanisme rénal*, qui est un nanisme harmonieux avec retard osseux alors que l'âge dentaire et l'âge mental sont ceux de l'âge chronologique.

2. *Nanisme génétique* qui est un nanisme sans retard osseux, avec parfois seulement un développement discordant des différents points épiphysaires, certains étant en avance, d'autres en retard, mais l'âge squelettique global concorde avec l'âge civil. Seule la taille est petite dès la naissance et la croissance lente ; tous les autres examens seront négatifs.

3. *Nanismes endocriniens* où la détermination de l'âge squelettique est intéressante non seulement comme élément diagnostique mais surtout comme moyen de suivre l'amélioration thérapeutique de façon précise.

L'hypothyroïdie où « l'examen radiologique des os représente l'élément essentiel du diagnostic. Il n'existe pas de nanisme hypothyroïdien sans retard de la maturation osseuse ; l'âge osseux est inférieur à l'âge statural, lui-même inférieur à l'âge chronologique » (F. FRANÇOIS, R. GILLY). Les radiographies mettent en évidence le retard dans l'apparition des noyaux d'ossification, la persistance anormale des cartilages de conjugaison, l'existence des dysgénésies épiphysaires.

Les nanismes *neuro-hipophysaires* : la taille de ces enfants était normale à la naissance, mais la croissance s'est peu à peu ralentie ; les radiographies du squelette montrent un retard osseux, mais, par rapport à l'âge chronologique, il est moindre que l'âge statural ; l'âge osseux se trouve donc intermédiaire entre l'âge chronologique et l'âge statural. On note l'absence de dysgénésie épiphysaire ; les cartilages de conjugaison persistent après la date présumée de la puberté et la corticale diaphysaire est mince.

4. Citons les retards de croissance avec puberté tardive où le retard de l'âge statural et de l'âge osseux est en général moins important

que dans les nanismes hypophysaires. La taille définitive sera parfois moyenne, parfois en dessous de la moyenne.

Dans les *états hypogénitaux*, la croissance des membres inférieurs et supérieurs continuera pendant une période anormalement longue, aboutissant aux proportions corporelles caractéristiques eunuchoïdes ; le calcul de l'âge osseux révèle le retard du développement et permet de déterminer si la taille continuera à s'accroître ou non ; il permet aussi d'évaluer l'efficacité de la thérapeutique endocrinienne destinée à remédier à cet état.

b) LES AVANCES DE CROISSANCE ET DE MATURATION osseuse se voient surtout dans l'hyperthyroïdie, les syndromes adrénogénitaux, les tumeurs de la granulosa, les tumeurs interstitielles du testicule.

GREULICH et PYLE ont étudié tout particulièrement l'intérêt de la radiographie du poignet dans le cas de *puberté précoce* : il s'agit d'enfants qui, pour leur âge civil présentent un développement précoce ; ils ont une taille au-dessus de celle des enfants de leur âge, mais cette croissance s'arrêtera bientôt et leur taille adulte sera bien en dessous de la moyenne. La détermination de la maturation osseuse objective un développement osseux anormalement avancé pour l'âge chronologique de l'enfant et permet de déterminer son degré de précocité. Si les radiographies sont renouvelées à intervalles réguliers, elles fournissent une mesure objective de la rapidité avec laquelle progresse le développement osseux de l'enfant.

A partir de ces données, on peut prédire quand se produira la fusion des épiphyses des os longs des membres inférieurs et de la colonne vertébrale et quand, par conséquent, cessera la croissance

II. — EN ORTHOPÉDIE GÉNÉRALE

Il est intéressant de connaître le degré de maturation osseuse de l'enfant dans le pronostic des cyphoscolioses ou dans les indications opératoires, en cas d'inégalité des membres inférieurs par exemple. L'orthopédiste sera souvent amené à déterminer l'âge squelettique dans toutes les ostéochondrodystrophies, achondroplasies, mongolismes, etc., pour déterminer l'importance des malformations et du retard de l'enfant.

III. — EN ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

BROADBENT, BRASH, TODD, FRANCIS, DE COSTER ont montré que la croissance des os de la face se fait de la même façon que celle du squelette en général, qu'elle est soumise aux mêmes lois et, hormis les cas pathologiques (nanisme thyroïdien, dysharmonieux, acromégalie...), les facteurs qui influencent le développement squelettique en général (rachitisme par exemple) influencent aussi le développement des os de la face. Le stade du développement du carpe correspond donc bien au stade du développement de la face. Nous verrons plus loin quelle importance revêt la connaissance des retards d'ossification dans l'étiologie, le diagnostic et le pronostic de certaines malformations et malpositions dento-maxillaires.

INTERET DE LA COMPARAISON DES DIFFERENTS « AGES »

I. — COMPARAISON AGE CIVIL, AGE STATURAL, AGE OSSEUX PREDICTION DE LA TAILLE

Connaissant, à un âge donné, la taille de l'enfant et son degré de maturation osseuse, est-il possible de prévoir quelle sera sa taille adulte ? Il faudrait pour cela connaître de façon exacte la part des facteurs génétiques et endocriniens.

Si les facteurs endocriniens sont multiples et imprévisibles, le facteur génétique peut être en partie connu : c'est pourquoi Horace GRAY, en 1948, a utilisé la méthode suivante, qu'il appelle « The Mid Parent Rule » ; d'après cette méthode :

— la taille d'une fille sera égale à la moyenne entre la taille de sa mère et les douze treizièmes de la taille de son père, soit la taille du père $\times 0,923$;

— la taille d'un garçon sera, à l'inverse, la moyenne entre la taille de son père et les treize douzièmes de celle de sa mère.

Par cette méthode, le pourcentage d'erreur ne serait que de 2,8 %.

Une autre méthode de GRAY consiste à prendre la taille plusieurs fois à quelques années d'écart. En extrapolant la fonction logarithmique obtenue, on obtiendrait la taille adulte à 2,7 % près.

Deux auteurs anglo-saxons, BAYLEY et NANCY, ont fait de très nombreuses études sur ce problème. Ces auteurs pensent que l'étude des courbes de croissance donne des résultats difficiles à interpréter, car certains enfants à croissance rapide, nettement en dessus de la moyenne, ou au contraire des enfants à croissance lente, retardée par rapport à la moyenne, arrivent à la même taille adulte. On peut aussi

observer chez un même enfant, au moment de la puberté, des variations importantes du taux de croissance. D'autre part, il y a des enfants qui sont à la fois grands et ont un âge squelettique en avance depuis leur enfance et qui deviennent de grands adultes, de même des enfants petits à âge squelettique retardé deviennent de petits adultes.

BAYLEY et NANCY ont cherché une méthode qui pallie à l'inconvénient des différences individuelles de taille : grâce aux données d'une étude longitudinale sur la croissance poursuivie annuellement depuis l'enfance jusqu'à l'âge adulte, les auteurs ont pu convertir les tailles de l'enfance en pourcentage de la taille adulte (Pourcentage of Maturity Height : P.M.H.).

Leur système de prédiction est basé sur le fait qu'il existe une étroite corrélation entre les âges squelettiques lus à partir des radiographies du poignet (selon les standards de GREULICH et PYLE) et le pourcentage de la stature adulte au moment où est prise cette radiographie : c'est dire que l'âge squelettique est en corrélation avec le P.M.H. : corrélation atteignant 0,86 à la plupart des âges après 9 ans, lorsqu'on maintient constant l'âge chronologique.

Les auteurs ont construit des tables avec les données de l'enquête de l'Université de Californie « Institute of Child Welfare » : sur 192 enfants normaux (103 filles et 89 garçons) radiographiés tous les six mois de 8 à 18 ans jusqu'à la soudure épiphysaire des métacarpiens et des phalanges, des extrémités radiales et cubitales (BERKELEY GROWTH STUDY). Ces tables furent vérifiées en les appliquant à un groupe de 46 enfants (23 garçons, 23 filles) ; elles ont paru en 1950 avec l'atlas de GREULICH et PYLE.

La taille adulte représentant 100 %, à chaque âge l'auteur donne le pourcentage de la taille définitive : il existe trois séries de tables pour chaque sexe : une pour les enfants dont l'âge squelettique a moins d'un an de différence avec l'âge civil ; une pour les enfants dont l'âge squelettique a un retard de plus d'un an et une troisième pour ceux dont l'âge squelettique a une avance de plus d'un an sur l'âge chronologique. Connaissant donc l'âge squelettique et la taille actuelle, un tableau permet de connaître la taille définitive.

Plus récemment (1962), d'après les résultats de l'enquête du D' Harold STUART (de Harvard University School of Public Health)

comprenant 67 garçons et 67 filles mesurés annuellement et dont l'âge squelettique a été fixé selon les normes de l'atlas de GREULICH et PYLE par le D^r PYLE elle-même, les auteurs BAYLEY et NANCY ont donné une nouvelle table peu différente de la précédente. Ces tables donnent tous les trois mois, de 0 à 19 ans, le P.M.H. moyen et la déviation standard. Nous reproduisons ici quelques chiffres concernant le pourcentage moyen :

Age en années	P.M.H.	
	garçons	filles
1	42,5 %	45 %
2	51,2 —	53,6 —
3	54,4 —	58,4 —
4	59,7 —	63,0 —
5	63,3 —	68,2 —
6	65,9 —	70,6 —
7	69,3 —	74,9 —
8	73,0 —	77,8 —
9	76,0 —	82,3 —
10	78,8 —	85,8 —
11	80,8 —	87,9 —
12	83,9 —	91,4 —
13	87,7 —	95,5 —
14	92,3 —	97,3 —
15	97,2 —	98,5 —
16	98,2 —	99,5 —
17	99,2 —	99,7 —
18	99,7 —	99,8 —
19	99,9 —	

Notons que si l'on se sert de ces pourcentages pour calculer la taille adulte des Français à partir des chiffres moyens donnés par l'enquête de l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques faite sur les écoliers français en 1950, on trouve :

Pour les garçons : une taille de 1,74 m si on la calcule à partir du pourcentage donné à 6 ans, et seulement 1,66 m à partir du pourcentage donné à 14 ans ; pour les filles, selon les pourcentages donnés aux mêmes âges, on trouve respectivement 1,60 m et 1,57 m.

Ces pourcentages ne sont donc pas applicables aux enfants français.

Les conclusions des auteurs ne sont pourtant pas aussi optimistes qu'on pourrait le supposer : ils pensent que la taille n'est pas exactement prévisible dans les premières années, quelle que soit la méthode utilisée, car si l'on a parfois des prévisions exactes, il se produit parfois des erreurs de 8 à 12 centimètres !

On peut distinguer trois périodes de croissance paraissant indépendantes les unes des autres. Si la taille est mise en progression logarithmique, les auteurs ne trouvent une ligne droite qu'entre 3 et 9 ans. « Les choses semblent se passer comme si dans les trois premières années la croissance était dirigée par un jeu de facteurs peut-être génétiques et thyroïdiens, pendant l'enfance par un autre facteur, peut-être pituitaire, et à la puberté par les stéroïdes » (BAILEY et NANCY).

S'il est exact qu'à chacune de ces périodes corresponde une stimulation de croissance en provenance d'une glande endocrine différente, on conçoit qu'une insuffisance de stimulation d'une seule de ces glandes endocrines puisse être responsable d'une erreur plus ou moins importante dans la prédiction de la taille définitive. Il en est de même des facteurs nutritionnels et de l'influence des maladies.

Mais cette notion de taille relative est très intéressante, car elle permet d'éliminer les causes d'erreurs dues aux différences de taille définitive individuelles. Comme l'a écrit le P^r LELONG : « Ainsi devient possible la comparaison de l'enfant non avec les autres mais avec lui-même aux différentes étapes de son devenir », puisque son « avenir statural semble prévisible » (cité par O. JEANNERET).

On peut rapprocher de cette idée celle d'ACHESON qui, comme nous l'avons vu, voudrait traduire le degré de maturation osseuse en pourcentage de maturité définitive pour permettre des comparaisons entre les différents stades de maturité. On pourrait donc comparer ainsi deux pourcentages plutôt que de parler d' « âge statural » et d' « âge osseux ».

II. — COMPARAISON

AGE CIVIL - AGE OSSEUX - AGE DENTAIRE

(ETIOLOGIE DES LÉSIONS DENTO-MAXILLO-FACIALES)

Lorsque la croissance s'effectue normalement, on observe un parallélisme étroit entre l'évolution des différentes parties de l'individu, notamment entre la *croissance de la face* (analogue à la croissance du poignet et connue par elle) et *l'âge d'éruption dentaire*.

Peut-il y avoir un décalage entre ces deux phénomènes ? Un facteur pathologique ou génétique peut-il influencer la croissance osseuse sans influencer le système dentaire et quelles seraient les *conséquences* de cet asynchronisme ?

Les études de TODD, DE SKALoud, de C.-C. HOWARD et de DE COSTER, en 1938, ont mis en évidence le fait qu'un même facteur pathologique n'a pas du tout les mêmes répercussions sur le tissu osseux et sur le tissu dentaire.

« Il faut considérer la différence d'ordre histologique et embryologique de l'os et du tissu dentaire : le fait que la dent est depuis longtemps un organe hautement différencié pendant que le tissu osseux qui devra le loger est encore en voie de prolifération active, et que, par conséquent, les facteurs pathologiques ne peuvent pas les influencer de la même manière » (DE COSTER).

Selon W. TODD et M. JANSEN, l'action d'un agent perturbateur sur l'individu en voie de croissance sera fonction de différents facteurs :

— l'intensité de la nocivité ;

— la rapidité de croissance de l'individu et de ses différentes parties (lois de vulnérabilité des groupes de cellules à croissance plus rapide).

Une expérience de TODD met ce fait en évidence : de deux agneaux jumeaux, l'un a été thyroïdectomisé à 35 jours : tous les deux sont tués à 24 mois et une étude comparative des dimensions crânio-faciales objective l'arrêt de croissance provoqué par la thyroïdectomie : les zones et diamètres les plus atteints sont ceux qui normalement se développent le plus vite à cet âge, alors que les dents ont été relativement peu affectées.

Donc un trouble quelconque, pathologique, endocrinien, aura pour conséquence une dysharmonie chronologique entre la croissance des os de la face et des dents.

Les travaux de TODD, BRASH, C.-C. HOWARD, DE COSTER ont montré que cet asynchronisme pouvait être à l'origine des malpositions dentaires.

Clinton HOWARD (1928) trouve sur 54 cas de troubles de l'ossification, 32 cas de malocclusions.

LUNDSTRÖM découvre 25 cas de retards d'ossification sur 54 cas de malocclusion (cité par DE COSTER).

L. DE COSTER présente les résultats d'une étude de 150 cas de malocclusion où les comparaisons suivantes ont été faites :

- *âge civil-âge osseux,*
- *âge civil-âge dentaire,*
- *âge osseux-âge dentaire.*

C'est ainsi que l'auteur trouve :

- dans 78 % des cas, un âge osseux en retard sur l'âge dentaire ;
- dans 14,7 des cas un âge osseux égal à l'âge dentaire ;
- dans 7 % des cas un âge osseux en avance sur l'âge dentaire.

Ces statistiques prouvent qu'il y a indiscutablement un rapport entre les troubles orthodontiques et les asynchronismes dento-osseux (cet asynchronisme pouvant être dû, soit à un retard osseux, soit à une avance dentaire).

Comment ce retard peut-il expliquer les malpositions ? CHAPMAN, FRIEL, KORKHAUS, NORTHCROFT, WALLACE ont montré l'extrême complexité à l'état normal de l'évolution dentaire, le fait que les dents sont déjà très à l'étroit dans les maxillaires ; que survienne un défaut de croissance osseuse, le contenu des maxillaires est le même alors que le contenant a une dimension insuffisante. Que se passe-t-il alors ? L. DE COSTER a décrit l'évolution suivante :

— Les dents à éruption trop précoce n'ont pas *le temps*, ni *la place* de réaliser leurs mouvements évolutifs normaux dans les maxillaires, leur éruption peut se faire en position fœtale :

— Même si elles ont eu la possibilité d'évoluer dans le maxillaire, au moment de l'éruption elles n'ont pas de place sur l'arcade dentaire.

— Il en résulte des anomalies fonctionnelles par défaut d'adaptation de la fonction (respiration, déglutition, phonation, mastication) à la structure squelettique, anomalie qui par la suite entretiendra la malformation, même si la cause en a disparu.

Dans les cas plus rares d'une avance osseuse, la malocclusion se produirait par mobilité des dents dans des maxillaires trop larges et cédant sous l'influence des pressions fonctionnelles.

Notons que les troubles produits peuvent être plus ou moins graves et plus ou moins fixés ; parfois, lorsque l'enfant a rattrapé son retard osseux, les dents en malposition retrouvent d'elles-mêmes leur place sur l'arcade : il ne s'est agi que d'une dysharmonie transitoire, mais le plus souvent les influences fonctionnelles (inadaptation musculaire et même image cérébrale non formée ou déformée) les maintiennent dans leur position inadéquate.

On voit donc que même sans défaut final de la croissance de la face, un simple ralentissement du rythme de croissance osseuse ou une accélération de l'éruption dentaire peuvent entraîner des malformations. Ce facteur avait été décrit par FRANCIS : « La normalité des phénomènes de croissance dépend plus de leur rythme que de leur importance » (cité par L. DE COSTER).

C'est la radiographie du poignet qui nous permet de suivre de la façon la plus simple et la plus fidèle le rythme de la croissance faciale.

FACTEURS INFLUENÇANT LA CROISSANCE ET LA MATURATION OSSEUSE

LE FACTEUR GENETIQUE

Le rôle de l'hérédité est évident *sur la croissance* ; il agit directement par action sur les différents tissus, indirectement par l'intermédiaire du système nerveux ou du système endocrinien, et nous avons vu comment des auteurs, H. GRAY notamment, essayent de prédire quelle sera la taille définitive de l'enfant à partir de la taille des parents. Le rôle de l'hérédité n'est peut-être pas aussi évident sur le mode de *maturation squelettique*.

GARN et ROHMANN ont entrepris une étude comparative entre 36 parents qui avaient participé à une étude longitudinale sur la croissance entre 1928 et 1939 et 72 de leurs enfants nés entre 1949 et 1960, soit en moyenne 24 ans plus tard. Chaque enfant n'a qu'un seul de ses parents qui a participé à l'étude précédente. Les clichés radiographiques ont été pris dans tous les cas pour l'anniversaire ou à six mois d'écart.

A chaque âge, la présence ou l'absence des 28 centres osseux de la main et du poignet a été notée ; puis la corrélation parents-enfants fut faite séparément pour chaque centre à chaque âge en utilisant la méthode de MAC CALL.

Les conclusions des auteurs sont qu'il existe une corrélation significative entre les parents et les enfants dans :

- le nombre de centres osseux présents à chaque âge ;
- la date d'apparition des centres.

La similitude d'ossification que l'on observe entre jumeaux concorde avec ces résultats.

Les centres ayant la plus grande corrélation entre parents et enfants (pyramidal et semi-lunaire) sont ceux dont l'ossification paraît la plus

anarchique ; alors que les os les plus réguliers dans leur date d'apparition (épiphyses digitales) semblent moins soumis au facteur génétique (ceci expliquant cela).

Le facteur génétique étant primordial sur la croissance et sur la maturation osseuse, des auteurs se sont demandé si les *différences raciales* étaient importantes : KELLY et REYNOLDS ont colligé 425 dossiers d'enfants ; pour les garçons : 174 de race blanche et 55 de race noire ; pour les filles : 131 de race blanche et 65 de race noire.

Ces enfants ont été observés dans les premières années de la vie : tous les 28 jours jusqu'à l'âge de 3 ou 4 ans, et des radiographies du pied, de la jambe, du bras et de la main gauches ont été prises.

Les auteurs ont calculé les âges d'apparition des différents os, leur ordre d'apparition, le pourcentage de chaque os présent à un âge donné ; ils ont mesuré également la surface de chaque os carpien par un « disc planimeter ». De ces différentes études, il résulte que « le pourcentage de poignet ossifié ou la surface carpienne totale par unité de surface-poignet est, à un même âge, le plus important chez les fillettes de race noire et le moins important chez les garçons de race blanche ». Il y aurait donc, chez les Noirs d'Amérique, une petite avance, mais cette différence n'est pas considérable.

LE FACTEUR HORMONAL

dont nous n'évoquerons que les grandes lignes (empruntées au Cours d'endocrinologie du P^r GUINET) met en jeu trois systèmes hormonaux, d'ailleurs plus ou moins dépendants les uns des autres :

L'HORMONE HYPOPHYSAIRE.

Son rôle a été mis en évidence par les expériences d'hypophysectomie : l'arrêt de croissance est définitif.

Le principe actif, l'hormone de croissance, ou G. H., agit avant tout sur le cartilage sérié, mais aussi sur le cartilage hypertrophique. Depuis EVANS on sait que l'hormone de croissance agit aussi sur la *maturation osseuse*.

LE DIENCÉPHALE

agit par l'intermédiaire de l'hypophyse dont il influence le fonctionnement ; l'intégrité des connexions diencephalo-hypophysaires est nécessaire pour que s'effectue la croissance.

LE CORPS THYROÏDE.

L'animal éthyroïdé présente un nanisme dysharmonieux prédominant sur les membres.

Mais l'hormone thyroïdienne agit sans doute grâce à l'intervention de l'hormone de croissance, car si la thyroxine rétablit normalement la croissance d'un animal éthyroïdé, elle est sans action si l'animal a été de plus privé de son hypophyse. Cette action de la thyroïde serait directe sur le cartilage hypertrophique et indirecte (par l'intermédiaire de G.H.) sur le cartilage sérié.

Dans l'infantilisme thyroïdien de BRISSAUD et MEIGE, la radiographie montre :

- une persistance anormale des cartilages de conjugaison ;
- commande l'apparition des points d'ossification ;
- une dysgénésie des noyaux épiphysaires.

En résumé, l'hormone thyroïdienne :

- commande l'apparition des points d'ossification ;
- prépare le cartilage de conjugaison à l'action de l'hormone de croissance ;
- assure la maturation osseuse.

LA PARTICIPATION DES HORMONES GÉNITALES.

Comme le montrent les manifestations de l'eunuchisme : absence de soudure et poursuite prolongée de la croissance aboutissant au type macroskèle, les hormones génitales favorisent la calcification. Elles agissent par l'intermédiaire de l'hypophyse. A faible dose elles ont une action excitatrice, à forte dose une action freinatrice de l'hypophyse avec augmentation marquée des phénomènes de calcification.

En pathologie, l'étude de certains retards de croissance associés à une puberté précoce montre un arrêt de la croissance avec accélération de la maturation du cartilage de conjugaison ; il y a imprégnation androgénique qui favorise la maturation, qui elle-même entraîne la soudure.

L'INFLUENCE DU MILIEU SOCIAL ET ECONOMIQUE DE L'ENVIRONNEMENT

a) SUR LA CROISSANCE.

Les opinions des auteurs diffèrent sur ce sujet. En 1947, le D^r J. CAUHÉPÉ, dans un article intitulé : « Les phénomènes biologiques en orthodontie », cite l'opinion de BROCA qui écrivait :

« J'ai reconnu que la taille des Français, considérée d'une manière générale, ne dépendait ni de l'altitude, ni de la latitude, ni de la pauvreté, ni de la richesse, ni de la nature du sol, ni de l'alimentation, ni d'aucune des conditions de milieu qui ont pu être invoquées. Après toutes ces éliminations successives, j'ai été conduit à ne considérer qu'une seule influence générale, celle de l'hérédité ethnique. »

DALLY n'avait pas des idées différentes sur ce sujet quand il remarquait que si l'alimentation en quantité insuffisante ou exagérée influe énormément sur la marche de la croissance, elle n'a aucun effet sur la taille finale de l'individu « qui n'est réellement modifiée que selon les races et les croisements, c'est-à-dire l'atavisme. » (Cité par CAUHÉPÉ).

Par contre, un récent article de M. GRAFFAR (1962) rapporte des cas et des exemples où il semblerait au contraire que les facteurs socio-économiques ont tout de même leur importance : M. GRAFFAR cite les travaux de PATON (D.-N.), FINDLAY (L.), de SANDERS (B.-S.) et de SOROKIN (P.-A.) ; leur conclusion est que les enfants et les adultes des classes socio-économiques supérieures sont plus grands et plus lourds en moyenne que les individus des classes socio-économiques inférieures.

M. GRAFFAR cite encore les études de BOAS, d'APPLETON, de SPIER, qui ont montré qu'en général les enfants d'immigrants établis dans un milieu supérieur à celui de leur pays d'origine tendent à être plus grands que leurs parents et leurs frères et sœurs élevés dans le milieu natal.

Au point de vue pratique, l'amélioration du niveau de vie et la meilleure compétence des parents se traduisent pour l'enfant par :

- une alimentation plus riche, plus variée,
- la surveillance de la santé de l'enfant,

— l'amélioration de l'habitat, les habitudes de sommeil, de repas réguliers, la pratique des sports, le grand air.

Le fait que la taille de l'homme tend à s'accroître régulièrement depuis le début du XIX^e siècle pourrait bien s'expliquer par l'amélioration des conditions socio-économiques.

L'augmentation séculaire de la taille et du poids a été mise en évidence par CLÉMENT sur des enfants anglais de 5 à 13 ans : « La taille moyenne et le poids moyen ont augmenté de 2,5 à 3,5 pouces et de 4 à 11 livres entre les années 1880 et 1947. »

MEREDITH et MEREDITH comparent les poids et taille des enfants de Californie en 1892 et les enfants d'Orégon en 1950-1952 ; leurs résultats (cités par KROGMAN) sont les suivants :

	Age	Garçons	Filles
Augmentation de la taille entre 1892 et 1950-1952	7 ans	6,3 cm	6,4 cm
	9 ans		7,5 cm
	10 ans	7,9 cm	
	11 ans		8,2 cm

TRÉMOLIÈRES, BOULANGER, VINIT et MANJOL ont comparé les mensurations de 51 000 jeunes Français de 20 ans, de sexe masculin, en 1946, et 257 000 en 1948 ; leur taille moyenne présente une augmentation de taille d'environ 5 cm sur les données de 1895-1900.

ENGELMARK note que si les enfants et adolescents suédois sont beaucoup plus grands que les enfants d'il y a cinquante ans, cette différence atteignant 15 cm chez les filles de 15 ans, par contre les jeunes adultes n'accusent que 5 cm d'écart avec les générations précédentes : ENGELMARK conclut que les facteurs d'environnement jouent davantage sur la rapidité de croissance que sur la taille définitive.

b) SUR LA MATURATION OSSEUSE.

ACHESON a remarqué, dans son étude sur les enfants d'Oxford, que la taille souffrait davantage des conditions défavorables, alors que la maturation osseuse semblait moins touchée par ce processus.

ABOTT, TOWNSEND, FRENCH, AHMAN ont étudié 162 enfants de milieu rural âgés de 6 à 13 ans (enfants d'une « cooperating school » dans une des sections les plus déshéritées). Ces enfants appartiennent à une classe économiquement instable, leur nourriture est souvent

défectueuse, les fruits et le lait sont notamment peu abondants, il existe des maladies nutritionnelles, et on trouve chez ces enfants une grande proportion de gingivite, de caries, d'anémie, de conjonctivite et de troubles squelettiques. Des radiographies de la main ont été prises et comparées avec les standards de TODD : les auteurs trouvent un important retard de l'âge carpien sur l'âge chronologique ; ce retard s'échelonne de 10 mois à 2 ans 3 mois, et les auteurs constatent aussi que le retard de maturation osseuse est supérieur au retard de croissance.

DREIZEN, SNODGRASSE, PARKER, CURRIE et SPIES concluent que : « Une insuffisance prolongée de nourriture chez les enfants provoque un retard d'ossification des 28 centres osseux de la main et du carpe. » Par contre, la correction de ces déficiences diététiques provoque une accélération de la maturation, compensatrice de ce retard.

FACTEURS PATHOLOGIQUES

D'après GREULICH et PYLE, les affections aiguës ont une influence très nette sur l'apparition des centres osseux. Ceux-ci paraissent particulièrement sensibles à certains stades de leur différenciation :

« Si, par exemple, une maladie arrive aux environs de la période où l'ossification doit commencer dans un os du carpe ou dans une épiphyse, souvent ce centre n'apparaît pas. Lorsque la maladie est terminée, le prochain centre qui doit s'ossifier le fera généralement à peu près au moment normal, d'autres centres pourront aussi apparaître avant que celui dont l'ossification a été interrompue ne fasse une apparition tardive » (GREULICH et PYLE).

La rapidité avec laquelle sont corrigées ces déficiences osseuses peut permettre d'évaluer les progrès de l'enfant vers la guérison.

Ajoutons que, toujours selon GREULICH et PYLE, ces arrêts de croissance laissent de plus des traces, des « cicatrices » sous forme de lignes transversales ou bandes à densité accrue au niveau de la diaphyse des os longs, bandes dont la densité et la largeur seraient en rapport avec l'importance de la durée de la maladie. Les auteurs expliquent ces formations de la façon suivante : tout se passe comme s'il existait chez l'enfant en bonne santé et convenablement nourri un équilibre entre la vitesse à laquelle se fait l'apport et le dépôt des éléments minéraux et la vitesse de croissance de l'os ; si cette dernière diminue, la densité des éléments minéraux sera plus importante.

LES DIFFERENTES METHODES D'EVALUATION DE LA MATURATION OSSEUSE

CLASSIFICATION

Nous reprendrons la classification du P^r M. LELONG et de ses collaborateurs pour classer par méthode les publications des différents auteurs.

La première méthode, la plus simple, consiste à donner dans un atlas, pour chaque âge, un schéma type ou une radiographie considérée comme typique de l'état d'ossification d'une ou plusieurs articulations.

« Ce sont les modifications de la forme, des contours, du relief, des dimensions respectives des différents centres apparus précédemment qui serviront d'indicateur de maturité » (GREULICH et PYLE). C'est la méthode QUALITATIVE.

Dans les premières années de l'enfance, de nombreux centres osseux primaires et secondaires apparaissent dans les articulations des extrémités des membres. Tant que ce nombre croît chaque mois ou chaque année de façon importante, il est logique de se baser sur ce seul nombre pour évaluer la maturation. C'est la méthode QUANTITATIVE : méthode intéressante jusqu'à l'âge de 5 ou 6 ans mais qui devient assez peu précise par la suite, même si les auteurs, comme c'est souvent le cas, emploient les radiographies de tout un héli-squelette.

La méthode CHRONOLOGIQUE consiste à calculer pour chaque centre osseux en particulier son âge moyen d'apparition : leur présence ou leur absence permet donc de fixer de façon assez précise l' « âge osseux de l'enfant », mais, lorsque tous les centres sont apparus, on adjoint l'âge moyen des soudures diaphyso-épiphysaires. Les premières soudures diaphyso-épiphysaires se produisent vers 11-13 ans.

Il existe donc un « âge creux » entre le moment où tous les os du carpe et du métacarpe sont apparus et celui où se font les fusions

diaphyso-épiphysaires et c'est là qu'apparaît tout l'intérêt des méthodes MÉTRIQUES. Car si tous les os sont apparus ils n'en ont pas pour autant leur forme et leur volume définitif et des mensurations donnent de façon précise des points de repère au lieu de se contenter d'une appréciation « à vue ».

Les méthodes que nous appellerons DESCRIPTIVES. — Toutes les précédentes méthodes établissent leurs résultats en fonction de l'âge chronologique. Certains auteurs ont pensé qu'il n'était pas logique d'exprimer un degré de maturation en âge, fût-il « osseux ». A la suite de la description analytique de GREULICH et PYLE, ACHESON a établi une échelle de valeurs indépendante basée sur la forme et le volume des os et donnant ses résultats en unités de maturité : les Unités d'Oxford.

Citons enfin les méthodes comme celles du « Cadran de O. JEANNERET » qui sont des méthodes mixtes d'utilisation pratique qui empruntent des éléments à plusieurs des méthodes précédentes.

Nous allons passer en revue ces différentes méthodes en citant les principales, mais nous ne décrirons de façon détaillée que quelques études typiques de chaque catégorie.

LA METHODE QUALITATIVE

Les principaux atlas radiographiques sont ceux de :

— ENGELBACH et MAC MAHON (1924) ;

— Clinton C. HOWARD : *Atlas du poignet* (U.S.A., 1928) ;

— FLORY : « Développement osseux de la main comme index du développement squelettique », paru aux U.S.A. en 1937 ;

— TODD, paru en 1937, repris par GREULICH et PYLE en 1950 et 1959, que nous allons étudier en détail, car il est le plus utilisé, non seulement aux Etats-Unis mais en Europe ;

— D^r PYLE et de ses collaborateurs sur le développement du genou, paru en 1957.

— L'Atlas récent des auteurs allemands, les D^{rs} SCHMID et MOLL (1960).

Les Atlas de TODD et de GREULICH et PYLE ont été publiés à la suite d'une étude sur la croissance menée de 1931 à 1942 à la Western University School of Medicine (Cleveland, Ohio) sur des enfants de 3 mois à 14 ans. Ces enfants ont été choisis pour ne présenter aucun gros défaut physique ou mental ; ils sont issus de familles en peu en dessous de la moyenne comme standard de vie et comme éducation. Ce sont tous des enfants blancs nés aux Etats-Unis, d'ascendance en général nord-européenne.

Ces enfants ont été examinés tous les trois mois la première année, tous les six mois jusqu'à 5 ans, une fois par an au-dessus de 5 ans (sauf aux âges de 13 ans et demi chez les filles et de 15 ans et demi chez les garçons où les examens ont été plus fréquents pour étudier les rapports entre puberté et ossification).

L'examen comprenait les mesures du poids et de la taille, des radiographies de l'épaule, du coude, de la main, de la hanche, du genou et du pied, le tout du côté gauche ; des tests psychologiques et un compte rendu de la santé de l'enfant depuis la précédente visite.

Des séries de 2 à 20 radiographies de la main ont été prises à des examens successifs pour chacun des 100 enfants : ce sont ces radiographies qui ont servi à l'élaboration de l'Atlas de TODD. Après la mort du D^r TODD, GREULICH et PYLE ont continué les recherches entreprises et ont complété et revu les normes données par TODD.

Ce dernier Atlas est composé de standards radiographiques d'excellente qualité de la toute première enfance (3 mois) jusqu'à l'ossification complète dont les témoins sont les soudures diaphyso-épiphysaires (18 ans).

But :

Les auteurs sont arrivés aux conclusions que dans un pays comme les Etats-Unis, où les origines ethniques sont aussi variées (entraînant des différences de taille, des différences dans l'âge de la puberté), où le niveau économique n'est pas homogène (différence dans la qualité de l'alimentation), il était nécessaire de trouver un indicateur de maturité qui soit commun à tous et, dans une certaine mesure, indépendant de la taille.

« L'état du développement du squelette tel qu'il s'est révélé par une radiographie du poignet et de la main semble répondre à cette nécessité » (GREULICH et PYLE).

La première partie du travail des auteurs concerne un Atlas dont les clichés ont été choisis de la façon suivante :

« Chaque standard... a été choisi parmi 100 clichés d'enfants du même sexe et du même âge. Les clichés de chacune de ces séries ont été disposées dans l'ordre de leur progression osseuse relative, du moins avancé au plus avancé. Dans la plupart des cas, le film choisi comme standard est celui qui, à notre avis, est le plus représentatif de la tendance centrale ou type anatomique de chaque série ».

La deuxième partie du livre donne une description analytique de chaque os, c'est-à-dire que selon une méthode analogue à celle d'ACHESON, que nous étudierons plus loin, les auteurs considèrent les formes successives que prend chaque os pendant les différentes phases de l'évolution jusqu'à l'âge adulte. Ce n'est d'ailleurs qu'arbitrairement que nous la séparons des Atlas puisque le principe en est le même, mais elle fait intervenir une notion nouvelle : celle d'unité de maturité indépendante de l'âge chronologique.

L'auteur américain Clinton C. HOWARD a fait paraître en 1928 un Atlas de Radiographies du poignet. L'intérêt de l'auteur avait été éveillé par l'observation d'enfants anormaux à la Clinique d'endocrinologie d'Atlanta. Dans cette institution, chaque examen physique comprend un cliché radiographique de la main : ayant ainsi 1 000 dossiers radiographiques, l'auteur a voulu les comparer avec des clichés d'enfants à croissance normale. Ces enfants ont été choisis dans les écoles classées par le Département de la Santé comme ayant le plus grand nombre d'enfants normaux. Cette étude a réuni 1 412 dossiers d'enfants de 5 à 16 ans.

Grâce à cet important matériel, l'auteur possède 50 radiographies de chaque âge et de chaque sexe, d'année en année, de 5 à 15 ans.

C.-C. HOWARD a d'une part dénombré à chaque âge quels étaient les centres osseux présents au niveau de la main, l'apparition des épiphyses radiales et cubitales, de la styloïde cubitale, et à quels moments s'effectuaient les soudures épiphysaires, radiale, cubitale, métacarpiennes et phalangiennes.

D'autre part, l'auteur a publié un Atlas radiographique de la main, pour chaque sexe, entre 5 et 15 ans.

LA METHODE QUANTITATIVE

consiste à compter le nombre de points d'ossification apparus. Une table donne directement la correspondance entre le nombre de points présents et l'âge squelettique.

Les radiographies de la main ne sont utilisables isolément, par cette méthode, que jusqu'à l'âge de 6 ans, tous les os du carpe étant pratiquement apparus à cet âge, sauf le pisiforme et le sésamoïde du pouce. C'est pourquoi les tenants de cette méthode élargissent généralement leurs investigations à toutes les articulations d'un héli-squelette. Ce sont principalement les méthodes de :

VOGT et VICKERS (1938) : Unisegmentaire ;

SONTAG, SNELL et ANDERSON (1939) : Plurisegmentaire ;

ENGELMARK (1956) : Plurisegmentaire ;

LEFEBVRE et KOIFMANN (1956) : Plurisegmentaire.

SONTAG utilise 1 282 radiographies d'héli-squelette gauche de 149 enfants normaux, 75 garçons et 74 filles ayant entre 0 et 60 mois. Certains enfants furent examinés plusieurs fois : l'auteur possède ainsi une trentaine de dossiers d'enfants de chaque âge.

67 centres osseux ont été sélectionnés (représentant 80 % des centres qui apparaissent après la naissance) et appartenant aux différentes articulations : épaule, coude, poignet, main, hanche, genou, cheville, pied.

A partir de ces données, l'auteur construit des courbes indiquant la moyenne de centres osseux chez les garçons et chez les filles, selon l'âge. La valeur de la déviation standard est aussi indiquée.

ELGENMARK, dans un très important ouvrage paru en 1946 sur « Le développement normal des centres d'ossification durant le premier âge et l'enfance », a réuni les observations de 429 jeunes garçons et 423 filles, en tout 1 190 dossiers, car certains enfants ont été vus plusieurs fois. Ce sont des enfants soignés au « Samaritan Children's Hospital » de Stockholm pendant les années 1942 à 1945. Les dossiers comprennent, outre les radiographies, un certain nombre d'observations : il s'agit d'enfants sains, sans antécédents endocriniens personnels ou familiaux ; l'âge de la mère à la naissance de l'enfant est

connu, ainsi que les antécédents héréditaires et collatéraux. Ces enfants sont tous nés à terme.

Les âges s'échelonnent de la naissance à 5 ans et les données radiologiques sont composées de vues antéro-postérieures de chaque surface osseuse : tout l'hémi-squelette droit est ainsi radiographié, soit 68 centres osseux répartis de la façon suivante :

- main : 28,
- pied : 28,
- genou : 4,
- hanche : 3,
- coude : 2,
- épaule : 3.

(Dans 59 observations, les deux hémi-squelettes ont été radiographiés et comparés). Deux clichés suffisent pour les enfants de petite taille, mais pour les enfants plus grands, un cliché par articulation est nécessaire : l'auteur a ainsi 7 000 clichés.

ELGENMARK a cherché les relations entre *l'âge chronologique* et le *degré d'ossification* des deux façons suivantes :

- en suivant le même enfant aux âges successifs ;
- en groupant les individus par classe d'âge égal.

Le matériel utilisé étant important, les résultats sont superposables.

La méthode utilisée pour exploiter les résultats est la suivante : à chaque âge, l'auteur a recherché le nombre d'enfants possédant un centre donné ; la méthode des pourcentages cumulatifs donnerait une courbe en « S » ; mais pour se livrer à des calculs plus précis l'auteur a préféré rechercher, toujours pour un centre donné, le nombre de cas où il apparaissait à chaque âge (courbe qui peut s'obtenir à partir de la précédente en soustrayant à chaque stade le nombre obtenu précédemment).

On voit d'emblée l'âge où ce centre apparaît chez le plus grand nombre d'enfants, car on obtient une courbe du type courbe de dispersion de GAUSS, permettant de calculer la moyenne, la médiane, l'écart type et le coefficient d'erreur : c'est donc une méthode statistique valable.

Les résultats donnés par ELGENMARK sont aussi très complets, car pour chacun des 68 centres osseux apparaissant après la naissance,

nous connaissons l'âge de première apparition du centre et l'âge auquel il est présent dans 25, 50, 75 et 100 % des cas ; ceci pour les garçons et pour les filles.

Nous verrons les résultats obtenus pour les os du carpe dans le tableau récapitulatif des différentes méthodes ; nous avons choisi les chiffres correspondant à la présence du centre d'ossification dans 50 % des cas.

Deux auteurs français : J. LEFEBVRE et A. KOIFMAN ont élaboré la première étude statistique française en 1956. Ces auteurs reprennent les idées de SONTAG et pensent que l'ossification d'un segment de membre ou d'un membre peut être avancée ou retardée par rapport à l'ensemble, qu'il peut y avoir aussi des erreurs dues aux discordances chronologiques entre l'apparition des points osseux épiphysaires et des os primaires du carpe et du tarse ; ils en concluent donc à la nécessité de tenir compte de tous les points existant en examinant toutes les articulations. 74 points ont été retenus (37 au membre inférieur et 37 au membre supérieur).

Cette étude, utilisant une méthode analogue à celle de SONTAG, a été faite après avoir colligé plusieurs milliers de radiographies prises chez des enfants traumatisés hospitalisés à l'hôpital des Enfants Malades, mais ne présentant par ailleurs aucune maladie osseuse ou générale connue, susceptible de troubler la maturation squelettique. Chaque enfant n'a été examiné qu'une seule fois. Les résultats sont rapportés sur un graphique donnant le nombre de points osseux en fonction de l'âge chronologique. Cette courbe a l'allure d'une courbe en « S », puisque, avant un an et aux environs de la cinquième année, le nombre de centres osseux apparaissant est moindre.

Les conclusions de LEFÈVRE et KOIFMAN sont que, d'une part il ne faut pas apporter une rigueur mathématique excessive dans la détermination de l'âge osseux et, d'autre part, que très peu de points apparaissent après 8 ans : cette étude devient alors assez imprécise, et il faudrait lui adjoindre d'autres critères.

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA MÉTHODE QUANTITATIVE.

M. RIBINOW, S.-M. GARN, Ch. ROHMAN ont cherché à savoir si l'augmentation du nombre de centres osseux représentait une mesure « sensible et digne de confiance pour mesurer les progrès de la matu-

ration ». Ils ont pour cela étudié l'apparition des centres osseux du poignet et de la main de la naissance jusqu'à la constatation de la présence de 28 centres. Le nombre moyen d'os apparus à chaque âge et les variations autour de ce nombre ont été calculés séparément pour les garçons et les filles.

Les conclusions des auteurs sont les suivantes : si la moyenne d'accroissement du nombre de centres par rapport à l'âge forme une courbe régulière, les courbes individuelles sont par contre très irrégulières, car les centres tendent à apparaître groupés plutôt qu'espacés.

De plus, l'accroissement du nombre de centres d'ossification n'est pas en corrélation significative avec l'accroissement du poids et de la taille pendant la même période ou la période des six mois précédents.

Dans ce groupe d'enfants normaux, le facteur *génétique* explique pour la plus grande part la variation et l'irrégularité dans l'apparition des centres (les courbes d'accroissement du nombre de centres, chez les vrais jumeaux, sont pratiquement superposables).

L'augmentation du nombre de centres d'ossification a donc, d'après RIBINOW et ses collaborateurs, une valeur très limitée d'appréciation des progrès de la maturation individuelle dans un intervalle de temps assez court pour être d'un intérêt clinique.

Cependant tous les auteurs ne souscrivent pas aux conclusions de RIBINOW : citons entre autres l'opinion de J. CAFFEY (1951) qui pense au contraire que la méthode de SONTAG est la plus précise parce qu'elle évite les erreurs dues à la différence de maturation squelettique d'un segment de membre à l'autre.

Mais ajoutons que, pour être précise, elle n'est pas nécessairement plurisegmentaire : le P^r LELONG et ses coll. se servent de cette méthode jusqu'à l'âge de 5 ans, en utilisant seulement les 28 points d'ossification de la main et du poignet, comme nous le verrons plus loin. En effet, s'il est justifié de faire des radiographies de tout un hémis-squelette dans les cas nettement pathologiques, en pratique médicale courante, l'irradiation reçue par l'enfant est trop importante et le prix de revient bien trop élevé pour en faire un examen de routine.

ACHESON, de plus, reproche à cette méthode d'ignorer totalement les changements de structure des os qui surviennent entre leur première apparition et les soudures épiphyso-diaphysaires.

LA METHODE CHRONOLOGIQUE

Elle consiste, comme nous l'avons dit, à comparer les radiographies de l'enfant à des tables donnant pour chaque centre son âge moyen d'*apparition* et de *soudure* ; les auteurs qui ont utilisé cette méthode sont principalement :

PYLE et SONTAG (1943),
SONTAG et REYNOLDS (1945),
ELGENMARK (1946),
WILKINS (1950),
VICKERS-HARDING (1952),
LEFEBVRE et KOIFMANN (1956),
SCOTT (1955).

La méthode la plus utilisée après celle de GREULICH et PYLE est sans doute celle de WILKINS, méthode purement chronologique qui donne dans un tableau très schématique les dates d'apparition des différents centres osseux de 1 à 11 ans.

L'auteur se sert des points suivants :

- points carpiens et métacarpiens ;
- au coude : extrémité inférieure de l'humérus et tête radiale ;
- à l'épaule : tête humérale, trochiter et trochin ;
- à la hanche : tête fémorale, grand et petit trochanter ;
- au genou : points fémoral inférieur, tibial supérieur, tête du péroné et rotule ;
- points tarsiens.

Les résultats ne sont donnés que d'année en année, de la naissance à 11 ans, et une même articulation reste parfois plusieurs années sans apparition de nouveaux centres osseux. Au niveau de la main même, aucun centre n'apparaît entre 7 et 9 ans et l'augmentation de volume des os du carpe est laissée à la seule appréciation du clinicien. Le tarse n'a de valeur que jusqu'à 4 ans. Hormis le point olécrânien postérieur qui apparaît à 8 ans, l'épaule est utilisable entre 1 et 2 ans, la hanche, le coude et le genou ne donnent des résultats que de façon épisodique par l'apparition d'un point isolé : recherche toujours difficile, car un résultat négatif ne permet pas de situer l'âge de l'enfant.

Les critiques adressées à cette méthode sont en outre *de ne pas tenir compte du sexe* et de ne pas donner les limites de l'ossification normale et pathologique.

VICKERS-HARDING étudie l'apparition chronologique des centres d'ossification des différentes articulations du membre supérieur et du membre inférieur, y compris les métatarsiens et les métacarpiens. L'auteur tient compte de l'apparition des centres osseux, de certains diamètres et des rapports diamètre épiphysaire-diamètre diaphysaire, notamment pour le radius et son épiphyse inférieure, le cubitus et son épiphyse inférieure, la tête radiale. L'auteur utilise aussi les dates de fusions diaphyso-épiphysaires.

A partir de ces nombreuses données, l'auteur établit un tableau pour chaque sexe en donnant non seulement deux moyennes, l'une élevée, l'autre basse, mais aussi les limites supérieures et inférieures de l'ossification normale, et enfin l'ossification nettement retardée ou avancée.

Les radiographies ont été prises tous les trois mois la première année, tous les six mois jusqu'à 2 ans et enfin tous les ans pour les années suivantes.

C'est une méthode chronologique doublée d'une méthode métrique d'une grande précision en ce sens que pour chaque âge et chaque type d'ossification, de nombreux critères sont établis. Elle nécessite cependant de nombreuses radiographies et trouve son intérêt dans les cas pathologiques lorsqu'il s'agit de suivre de façon précise l'évolution d'un myxoedème sous traitement, par exemple. De plus, elle fixe de façon précise les limites de l'ossification normale et pathologique.

Parmi les méthodes chronologiques, citons les études récentes de Charlotte F. HANSMAN effectuées sur les radiographies des extrémités osseuses (membre supérieur et membre inférieur gauches) d'un groupe d'enfants sains du « Child Research Council ».

L'auteur a examiné 207 enfants : 102 garçons et 105 filles ; certains n'ont été vus que deux fois, d'autres ont été suivis pendant plusieurs années, si bien que le nombre d'enfants examinés pour l'ossification de chaque centre varie de 44 à 75, et pour la fusion des épiphyses ce nombre varie entre 19 et 71.

Nous verrons les résultats de cet auteur dans le tableau récapitulatif des résultats, du moins en ce qui concerne les os du carpe.

RIBINOW, utilisant habituellement les Atlas de TODD et de FLORY, remarque que si ces Atlas permettent la plupart du temps de fixer aisément l'âge squelettique, on observe parfois des discordances très nettes entre des groupes osseux : un centre ou un groupe de centres sont en avance ou en retard sur l'ensemble.

A partir de l'étude de 31 enfants de 0 à 8 ans du Samuels Fels Research Institute, l'auteur a choisi 19 centres parmi les 60 centres des extrémités et différencie les os courts des extrémités épiphysaires, ces deux catégories lui paraissant évoluer indépendamment et n'être pas soumises aux mêmes facteurs (génétiques ou endocriniens).

RIBINOW propose, soit d'établir un Atlas avec trois catégories de standard :

1. Une catégorie pour les enfants dont le développement épiphysaire est au même niveau que celui des os courts.
2. Une autre catégorie pour les enfants dont les centres épiphysaires sont en avance.
3. Une troisième enfin lorsque ces centres épiphysaires sont en retard sur les os du carpe.

Ou encore de calculer un âge squelettique séparé pour les os courts et un autre pour les épiphyses.

METHODE DESCRIPTIVE

Cette méthode est parfois appelée méthode d'ACHESON, bien qu'ACHESON en aie emprunté le principe à GREULICH et PYLE.

Nous décrirons successivement :

1. LA MÉTHODE DE GREULICH et PYLE.
2. LA MÉTHODE D'ACHESON.
3. LA MÉTHODE DE TANNER.

1. LA MÉTHODE DE GREULICH ET PYLE.

Dans la deuxième partie de leur Atlas, GREULICH et PYLE innovent une méthode qui consiste en une *description analytique* de chaque os. Les auteurs considèrent les formes successives que prend l'os pendant les phases de la maturation jusqu'à l'âge adulte : apparition de l'os

qui peu à peu se modèle, surfaces articulaires avec les os voisins. Les *indicateurs de maturité* (ou signes de maturité) sont « les caractéristiques de chaque os telles que les montrent les clichés antéro-postérieurs de la main et du poignet qui en raison de leur succession régulière dans un ordre défini et irréversible attestent de sa progression vers la maturité » (GREULICH).

Comme on peut le constater sur le cliché que nous reproduisons (fig. 1), chaque stade d'ossification est pourvu d'un chiffre arabe (coefficient différent pour les garçons et pour les filles) et d'un chiffre romain correspondant aux différents stades de maturité de chaque os : l'apparition de l'os correspond au stade 1. Les auteurs décrivent 11 stades pour l'extrémité inférieure du radius et du cubitus et entre 7 et 10 stades pour les os du carpe.

Dans leur Atlas, GREULICH et PYLE ne donnent pas le mode d'utilisation de ces chiffres ; c'est à O. JEANNERET que nous empruntons l'explication suivante.

Les *chiffres arabes* : pour un cliché donné, on fait la moyenne des chiffres arabes attribués à chaque os de l'extrémité inférieure de l'avant-bras et de la main ; on obtient un nombre qui permet, à l'aide d'une table de correspondance, de lire l'âge osseux de l'enfant.

Dans les enquêtes, les auteurs, pour éliminer les causes d'erreur, ne calculent pas la moyenne individuelle, mais font la moyenne de la classe d'âge entière. En totalisant, dans chaque classe d'âge, le nombre de fois où un chiffre arabe a été attribué, quel que soit l'os considéré, chez chaque individu, on obtient une distribution des standards en fonction de la classe d'âge : le calcul de la moyenne de cette distribution donne l'âge osseux moyen des individus constituant cette classe.

Exemple :

Il y a dans le carpe et la main en tout 28 centres étudiés. Pour un enfant donné on a attribué à chaque os un chiffre arabe ; en le comparant avec les standards, on obtient, par exemple, la répartition suivante :

Standard arabe	16	17	18	19	20	21	22	23
Nombre de fois où ce chiffre a été attribué		2	4	10	8	4		

STADE I

Male Standard: 14-15
Female Standard: 11-12



VI

M.S.: 22-23
F.S.: 18-19



II

M.S.: 14-15
F.S.: 12-13



VII

M.S.:
F.S.: 21-22



III

M.S.: 15-16
F.S.: 12-13



VIII

IV

M.S.: 16-17
F.S.: 13-14

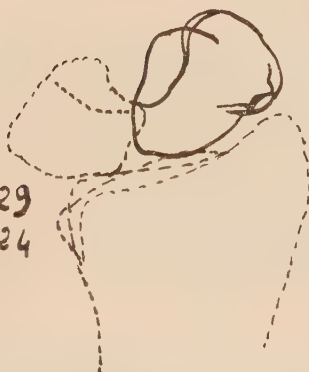


V

M.S.: 18-19
F.S.: 15-16



M.S.: 28-29
F.S.: 23-24



SCAPHOÏDE. Standards de GREULICH et PYLE

Fig. 1.

Il suffit de se reporter à la table donnant la correspondance entre les standards arabes et l'âge pour connaître l'âge de l'enfant.

Standard arabe	16	17	18	19	20	21	22	23
Age en année		8	9	10	11	12,5	13,5	14

Dans l'exemple que nous avons choisi, les deux centres les plus en retard ont un standard de 17 correspondant à un âge osseux de 8 ans, les centres les plus en avance ont un âge osseux de 12 ans 6 mois, et l'âge osseux central correspond au standard 19 relevé 10 fois, c'est-à-dire à l'âge de 10 ans. L'âge osseux moyen est de *10 ans 4 mois*.

L'avantage de ces standards arabes est que, contrairement aux chiffres romains, ce sont des unités strictement comparables entre elles.

En effet, les Indicateurs de maturité (chiffres romains) représentent, comme nous l'avons vu, les différents stades d'évolution du même os, mais alors que pour certains os (extrémité inférieure du radius) les auteurs décrivent 11 stades, pour d'autres os ils n'en décrivent que 7. Il n'est plus possible alors de parler de distribution, de tendance centrale, ni d'écart type, puisque ces chiffres ne sont même pas comparables entre eux.

L'avantage de cette méthode est de décrire le stade d'ossification en employant des chiffres (ou standards) indépendants ; ce n'est que dans un deuxième temps que l'on transforme ces chiffres en « âge osseux ». On peut admettre que ces stades décrits ont une valeur universelle ; il suffit d'adapter l'âge osseux correspondant aux différents stades au groupe ethnique étudié.

Comme l'écrivait en 1956 le P^r M. LELONG : « Les années de développement ne peuvent servir d'unité de mesure parce qu'elles ne sont pas équivalentes. »

C'est le principe de cette méthode qu'a repris ACHESON en le simplifiant.

2. LA MÉTHODE D'ACHESON.

ACHESON critique les principes de la méthode qualitative.

1° La méthode qualitative de TODD, de GREULICH et PYLE (dans leur Atlas) suppose un modèle fixé, établi pour l'apparition et le développement des différents centres d'ossification, alors qu'il existe des variations normales, génétiques notamment, dans l'ordre d'appa-

rition des os. Dans les cas où il y a un certain asynchronisme d'apparition des os par rapport à la moyenne, les Atlas ne donnent pas de solutions satisfaisantes.

2° Les standards sont établis tous les six mois : or cet intervalle est trop long, et l'*erreur subjective* dans l'interprétation et la comparaison des clichés est trop importante.

3° L'avance des filles sur les garçons rend nécessaire l'établissement de standards différents pour chaque sexe.

4° L'emploi du terme « âge osseux » s'exprimant évidemment en année et en mois ne rend pas compte de la nature du phénomène d'ossification.

C'est la mise en évidence de ces insuffisances de la méthode qualitative qui a amené ACHESON à reprendre la méthode tout à fait originale de description analytique de GREULICH et PYLE pour pallier à ces inconvénients. L'auteur s'est livré à une enquête sur un important groupe d'enfants nés à Oxford entre 1944 et 1948. Ces enfants ont été examinés tous les six mois entre l'âge de 6 mois et l'âge de 5 ans (taille, poids, radiographies des mains et des genoux). L'auteur a réuni ainsi 250 à 350 dossiers pour chaque âge et a calculé leur maturité squelettique, d'une part par la méthode de TODD et d'autre part par sa méthode personnelle en « Unité d'Oxford ».

Les unités sont établies de la façon suivante : chaque os est pris arbitrairement à trois stades de son ossification : ces stades sont calqués sur ceux de GREULICH et PYLE mais ramenés au nombre de 3 dans un but de simplification.

Le *stade* 1 correspond à l'apparition du centre sur les clichés ; au *stade* 2 l'os a déjà une forme caractéristique, reconnaissable, mais sauf pour le trapèze et le trapézoïde, il n'a pas encore de facette articulaire ; au *stade* 3 l'os a sa forme définitive et les os voisins ont marqué leur empreinte (fig. 2).

La méthode consiste à reconnaître sur un cliché à quel stade d'ossification se trouve chaque os isolément, à lui donner le nombre de points (« le score ») correspondant, à additionner ainsi les scores obtenus pour les os de la main et du carpe, et les extrémités inférieures du radius et du cubitus. A l'aide d'un graphique ayant en abscisse l'âge chronique et en ordonnée la maturité squelettique en Unités

UNITÉS
D'OXFORD

1

2

3

Extrémité
Inférieure
du RADIUS



Grand Os

o

o



Os Crochu

o

o



Pyramidal

o

o



Semi-lunaire

o

o



Scaphoïde

o

o



Trapèze

o



Trapezoïde

o



Extrémité
Inférieure
du Cubitus



Pisiforme

o

Metacarpien



Phalange



Standards
d'ACHESON
0 à 5 ANS



d'Oxford, on lit immédiatement à quel âge chronologique cette maturité osseuse correspond.

Mais l'ossification de la main prise dans son ensemble ne donnait pas une progression linéaire : pour pallier à cet inconvénient l'auteur a tracé des courbes séparées pour les os longs de la main, les os du carpe et les extrémités inférieures du radius et du cubitus, et s'est aperçu que les épiphyses du métacarpe et des phalanges apparaissaient très rapidement et de façon très groupée ; c'est pourquoi il a établi le correctif suivant :

- les phalanges du pouce, distale et proximale, ont pour score 1 unité ;
- change rangée de phalanges des doigts compte pour 1 unité lorsqu'elle est complète ;
- les métacarpiens valent chacun 0,2 unité, soit 1 unité pour les 5 métacarpiens.

La contribution des os longs de la main est réduite de 18 à 6 unités. Le graphique obtenu en fonction de l'âge chronologique est une ligne droite à progression régulière (fig. 2).

Correspondance entre le « score » des os de la main et l'âge osseux

Age en années	Garçons		Filles	
	Moyenne en Unités d'Oxford	Déviati on standard	Moyenne en Unités d'Ox'ord	Déviati on standard
1/2	2,7	0,9	3,3	1,2
1 1/2	6,8	1,4	9,0	1,6
1	4,4	1,1	5,9	1,5
2	9,1	2,4	11,7	2,5
2 1/2	11,3	2,1	13,8	2,1
3	13,1	2,2	15,4	2,7
3 1/2	14,9	2,2	17,5	3,1
4	16,5	1,9	19,4	3,1
4 1/2	17,8	1,9	21,0	3,4
5	19,0	2,0	22,8	3,2

ACHESON a fait le même travail en ce qui concerne l'ossification du genou : le graphique est représenté là aussi par une ligne droite sans qu'il soit besoin d'un correctif.

Les avantages de la méthode sont :

1. Chaque os court et chaque épiphyse apporte son exacte contribution à la maturité globale.
2. Toute petite variation de maturité peut être notée.
3. Les mêmes standards sont utilisables pour les garçons et pour les filles.
4. « Quand la technique aura été employée pour la période de maturation tout entière (c'est-à-dire de la naissance à l'âge adulte), il sera sans doute opportun de considérer le stade de maturation de tout os ou de toute région en terme de pourcentage : par exemple, la main d'un enfant peut être décrite comme ayant un stade de maturation de 34 % de la maturation totale, et le genou de 37 %. Ceci permettra une comparaison entre les différentes parties du corps ; de plus, cette échelle sera aisément intelligible parce que la maturité morphologique totale (le niveau 100 %) est inévitable chez toute personne saine » (ACHESON).

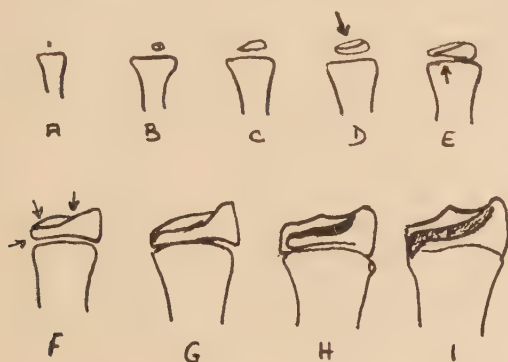
3. LA MÉTHODE DE TANNER.

Dans un récent Colloque de Pédiatres (1962) centré sur la Croissance physique et l'évaluation du développement squelettique dans la première enfance, J.-M. TANNER propose une méthode proche de celle d'ACHESON, ou de celle décrite par GREULICH et PYLE dans la deuxième partie de leur Atlas. Après un bref rappel sur l'utilité des indicateurs de maturité physiologique en général et squelettique en particulier, et après avoir rappelé qu'il utilisait les radiographies de la main et du poignet pour leur facilité d'exposition aux RX et l'absence de danger d'irradiation des gonades qu'elles comportent, l'auteur expose sa méthode.

Cette méthode que l'auteur a présentée avec R.-H. WITEHOUSE (WITEHOUSE, *Standard of bone age*) en 1959 a été conçue dans le but d'être plus précise que les Atlas radiographiques, ceux-ci ne donnant des critères que tous les six mois (le meilleur observateur peut réaliser une erreur de trois mois dans la lecture d'un cliché).

Utilisant le matériel de l'étude sur la croissance de HARPENDEND, menée pendant dix années, les auteurs ont cherché à distinguer les différents stades de la croissance de chaque os, comme ACHESON, en sachant bien que ces stades ne sont que des interruptions arbitraires d'une croissance continue. Huit stades ont été décrits pour chaque os

du carpe et neuf pour l'extrémité inférieure du radius (fig. 3). Les descriptions détaillées ont l'intention d'être un critère fondamental et suffisant, les illustrations n'étant que des guides secondaires. Chaque stade a ainsi trois ou quatre critères et la majorité des critères doit se retrouver sur le cliché.



OSSIFICATION DE L'EXTRÉMITÉ INFÉRIEURE
DU RADIUS - TANNER (J.M)

Fig. 3.

L'auteur s'est servi d'un matériel important :

- 170 radiographies de 1 mois à 7 ans ;
- 100 radiographies de filles et 100 radiographies de garçons de l'étude « Oxford Child Health Survey » prises tous les six mois, de 6 mois à 5 ans.
- 3 500 clichés d'enfants des districts de Ayr, Kilmarnock et Londres, âgés de 4 à 17 ans.

L'enquête couvre ainsi l'échelle complète des âges de l'enfance et de l'adolescence. Ces résultats ont été comparés pour s'assurer que 50 % des enfants ont atteint le stade décrit pour un os déterminé à un âge donné.

Dans un deuxième temps, l'auteur donnera un « score » à chaque stade des différents os et déterminera l'importance à donner à chaque os : certains pouvant être significatifs à un âge et n'avoir plus d'intérêt dans les années suivantes.

LES METHODES METRIQUES

Elles consistent à mesurer sur les clichés les diamètres ou les surfaces osseuses, des tables donnant pour chaque dimension l'âge osseux correspondant. C'est une méthode très exacte qui élimine l'erreur subjective dans l'interprétation des clichés et qui a l'avantage d'exprimer la maturité sous forme d'une dimension avant de la traduire en « âge », ce qui facilite les comparaisons d'une enquête à l'autre.

Ces méthodes sont cependant assez peu utilisées en pratique médicale courante, car les auteurs ont souvent établi leur enquête sur un grand nombre de mensurations, ce qui rend difficile et lente l'interprétation des clichés radiographiques. Mais si une enquête préalable a choisi les os et les dimensions les plus caractéristiques, nous pensons que cette méthode peut très bien être employée couramment. Elle permet de noter de façon exacte tout progrès de la maturation osseuse.

Les plus connues sont celles de :

- BALDWIN (1921 et 1928). Les standards expriment la taille réelle des os et leur taille par rapport à celle du poignet ;
- LOWELL et WODROW (1922) ;
- CARTER (1923 et 1926), qui mesure la surface des os carpiens ;
- PRESCOTT (1923) ;
- SAWTEL (1929) ;
- WALLIS (1931) ;
- CATTEL (1934) donnant les diamètres des os du carpe, du métacarpe et des phalanges ;
- WEST (1936) ;
- KELLY et REYNOLDS (1947), le plus grand diamètre des os ;
- VICKERS-HARDING (1952).

Nous décrivons la plus récente à notre connaissance, publiée en 1960. Deux auteurs allemands, le P^r F. SCHMID et le D^r H. MOLL, ont fait paraître un ouvrage intitulé « Atlas sur la croissance normale et pathologique du squelette de la main ».

Dans une première partie, les auteurs ont étudié 2 094 radiographies de la main. Ils ont utilisé la méthode métrique : mesurant les 8 os du carpe, les deux épiphyses inférieures du radius et du cubitus et le sésamoïde du pouce, soit 11 os, dans leurs deux dimensions (hauteur et largeur). Les mesures ont été faites tous les trois mois pendant la première année, de six mois en six mois, jusqu'à l'âge de 5 ans, puis annuellement entre 5 et 14 ans. Les auteurs ont pris pour chaque mensuration la moyenne arithmétique et ont calculé la déviation standard (68 % de la population) et le double de la déviation standard, comme nous le ferons dans notre étude personnelle, selon les lois de GAUSS.

Des tables ont été établies, donnant :

- les mensurations des os en fonction de l'âge chronologique des enfants ;
- les mensurations des os en fonction de la taille de 5 cm en 5 cm couvrant les tailles de 0,50 m à 1,60 m ;
- le même travail a été fait en ce qui concerne les diamètres des diaphyses radiale, cubitale et humérale.

Ce travail important a été établi sur une population assez large : d'une part les sexes ne sont pas séparés et d'autre part les critères de taille et de poids sont très larges (+ ou — 2 sigma, soit 95 % de la population).

Notons que leurs moyennes de taille et de poids diffèrent peu de celles de l'I.N.S.E.E. français : les garçons de 8 ans ont 1 cm de plus et pèsent 1 kg de plus que les garçons français du même âge.

A côté de cette méthode métrique, les auteurs publient un Atlas radiographique où d'excellents clichés présentent pour chaque âge la radiographie correspondant à la maturité squelettique normale, augmentée et diminuée, dans les limites physiologiques.

Dans la deuxième partie de leur ouvrage, F. SCHMID et H. MOLL ont passé en revue toutes les variations pathologiques du squelette de la main :

- les dysplasies squelettique ;
- les anomalies des noyaux carpiens, épiphysaires et métaphysaires ;
- le squelette de la main en tant qu'indicateur de croissance dans les troubles de l'état général.

LES METHODES MIXTES

1. La méthode « du cadran » du D^r O. JEANNERET présentée par MM. M. LELONG, R. JOSEPH, P. CANLORBE, P. BORNICHE et R. SCHOLLER.

But.

Les auteurs ont recherché une méthode facilement utilisable en clinique, ne nécessitant pas de calculs, réduisant au minimum le risque d'irradiation, s'appliquant valablement à tous les âges de la naissance à l'adolescence, tenant compte du sexe et basée sur des statistiques sérieuses comprenant un nombre suffisant d'enfants. La méthode enfin, au lieu de fournir simplement un résultat en « âge osseux », tient compte de l'amplitude de la variation physiologique et des causes d'erreur et indique pour un âge chronologique si le degré de maturation observé est normal, limite ou pathologique.

PRINCIPE DE LA MÉTHODE ET MATÉRIEL :

1. *Jusqu'à 4 ans.*

Sur une radiographie du poignet et de la main : la lecture du cliché se fait en comptant le nombre de centres osseux apparus. Les normes de références sont celles de l'enquête longitudinale du Fels Research Institute (P^r SONTAG, Yellow Spring, Ohio, U.S.A.) étudiées par REYNOLDS et ASAKAWA, comprenant les dossiers radiologiques de 58 garçons et 61 filles de 1 à 36 mois.

Pour la période de 3 mois à 4 ans la méthode est la même, mais le matériel provient aussi de l'enquête du Center for Research in Child Health and Development (STUART, Harvard School of Public Health, Boston, U.S.A.), comprenant 60 à 70 enfants de chaque âge et de chaque sexe. Les normes utilisées sont celles de VOGT et VICKERS.

2. *Après 4 ans.*

Les radiographies nécessaires sont celles du poignet et de la main de face et une radiographie du coude de face et de profil. Les auteurs ne se contentent plus de compter le nombre de centres osseux présents, mais chacun est repéré nommément : c'est donc la date d'apparition des centres ainsi que les dates de fusion diaphyso-épiphysaires qui déterminent l'âge osseux de l'enfant.

Entre 5 et 15 ans, les normes sont celles de VICKERS-HARDING, faites d'après l'enquête de STUART que nous venons de voir, comprenant 50 000 clichés appartenant à 323 enfants.

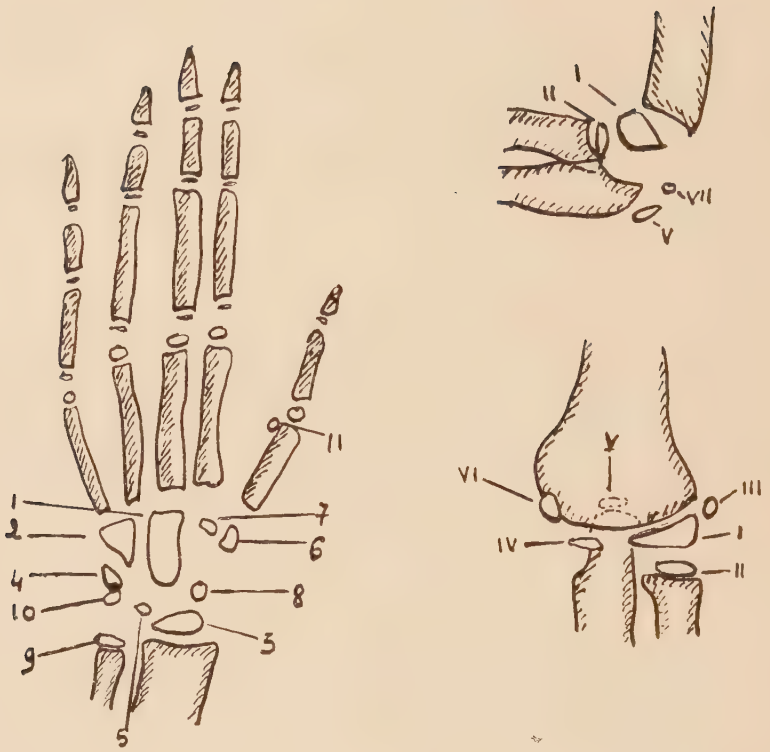
A partir de 16 ans, les documents sont ceux de l'enquête de la Brush Fondation (P^r TODD, actuellement P^r W.-W. GREULICH) et ceux-ci sont étudiés selon les références de l'Atlas de GREULICH et PYLE.

Utilisation du cadran, évaluation de l' « âge osseux » de l'enfant

Jusqu'à 4 ans : sur la radiographie du poignet et de la main gauche de face, on compte le nombre total de centres d'ossification visibles : épiphyse distale du radius et du cubitus, os du carpe, épiphyses des métacarpiens et des phalanges. Pour chaque âge chronologique (tous les trois mois la première année, tous les six mois jusqu'à 4 ans) le cadran donne le nombre de centres osseux correspondant à une croissance rapide, moyenne ou lente. Si le chiffre calculé est supérieur au « rapide » ou inférieur à la croissance latente, on passe à l'âge chronologique immédiatement supérieur ou inférieur ; la maturation osseuse est alors rapide ou lente, mais encore dans les limites physiologiques. Si le chiffre est encore supérieur ou inférieur et qu'il faille tourner le cadran d'une autre unité chronologique, on est en présence d'un cas probablement pathologique ; au-delà de deux unités le cas est certainement pathologique.

On peut encore, pour avoir immédiatement l'âge osseux, faire coïncider le nombre de points osseux comptés avec une fenêtre de croissance « moyenne », et l'âge osseux se lit en regard.

Au-delà de 4 ans, il faut posséder une radiographie de la main et du poignet et une radiographie du coude de face et de profil (fig. 4). On recherche alors, sur le « cadran », l'âge chronologique le plus proche de celui de l'enfant : on lit alors dans les trois fenêtres de croissance (lente, moyenne, rapide) quels sont les critères qui coïncident avec ceux des clichés de l'enfant, en sachant que si une fenêtre propose trois ou quatre centres de soudure, deux au moins doivent être présents ; si elle en comporte un ou deux, tous doivent être présents. Si tous les centres proposés, et les soudures sont déjà présents, on se reporte à l'âge chronologique supérieur... comme précédemment.



RAPPEL RADIOLOGIQUE DES POINTS D'OSSIFICATION

M. LELONG, R. JOSEPH, P. CANLORBE, P. BORNICHE, R. SCHOLLER, O. JEANNERET

Fig. 4.

MAIN

1. Grand os
2. Os crochu
3. Radius
4. Pyramidal
5. Semi-lunaire
6. Trapèze
7. Trapézoïde
8. Scaphoïde
9. Cubitus
10. Pisiforme
11. Sésamoïde du pouce

COUDE

- I. Condyle
- II. Tête radiale
- III. Epicondyle
- IV. Trochlée
- V. Olécrâne I
- VI. Olécrâne II

Avantages et limites de l'utilisation du cadran. — On voit donc que, outre sa facilité d'emploi, le « cadran » permet le dépistage et une première approximation de l'avance ou du retard de la maturation osseuse.

O. JEANNERET en fixe lui-même les limites :

« Les renseignements qu'il donne sont les plus précis entre la naissance et 5 ans, assez précis à la puberté, et les moins précis entre 5 et 10 ou 12 ans, selon le sexe. Il est insuffisant dans l'évaluation des progrès de la maturation osseuse sous traitement ou dans la surveillance des études longitudinales sur la croissance, sauf avant l'âge de 5 ans, et même dans l'évaluation précise de l'âge osseux à partir de 5 ans. »

Citons une méthode d'utilisation pratique décrite par M. CHATEAU qui consiste à compter le nombre de points d'ossification des os du carpe jusqu'à 5 ans, et au-delà à apprécier approximativement leur dimension ; les os considérés comme « petits » sont ceux dont le diamètre est inférieur à celui d'un corps de métacarpien, les os « gros », ceux dont le diamètre est supérieur à celui d'un corps de métacarpien. Le tableau suivant donne l'âge osseux correspondant (tableau établi à partir des critères de TODD) :

<i>Garçons</i>	<i>Filles</i>	<i>Nombre de points d'ossification</i>
Naissance	Naissance	0
18 mois	18 mois	2
3 ans	3 ans	5
5 ans	4 ans	6
6 ans	5 ans	9
7 ans	6 ans	10 (3 gros, 7 petits)
8 ans	7 ans	10 (4 gros, 6 petits)
9 ans	8 ans	10 (5 gros, 5 petits)
11 ans	9 ans et demi	11 (dont la styloïde)
13 ans	11 ans	9 (plus la soudure de l'épiphyse cubitale)
15 ans	13 ans	9 plus gros
17 ans	15 ans	1 ^{er} métacarpien soudé, épiphyse soudée.

Cette méthode a évidemment l'inconvénient de n'être pas précise, mais lorsqu'une approximation est suffisante la lecture des clichés est très facile.

DISCUSSION ET CRITIQUE DES DIFFERENTES METHODES

A la lumière des différents travaux étudiés, nous allons essayer d'éclaircir quelques points qui ont été longtemps l'objet de controverses pour savoir quelles doivent être actuellement les bases d'un travail valable ; et si certains chercheurs ont déjà levé bien des incertitudes, quelques questions n'ont pas encore reçu de réponses définitives.

1. La radiographie du squelette est-elle vraiment le témoin de la maturation osseuse ou seulement celui de l'état de calcification ?

2. La différence de maturation entre les sexes est-elle suffisante pour justifier des critères différents ?

3. La maturation est-elle identique au niveau des diverses articulations ? Faut-il comme ENGELMARK penser que les différences de maturation entre les diverses articulations nécessitent la prise de cliché de tout un héli-squelette ou au contraire un seul segment de membre est-il le reflet de la maturation osseuse de l'individu ?

En particulier, la maturation osseuse est-elle symétrique ? Est-il nécessaire de comparer les clichés de la main droite et de la gauche pour avoir une idée précise de l'ossification ?

4. Quels critères scientifiques doivent présider à l'élaboration des travaux actuels, quelles conditions doivent être remplies ?

5. Quelle est la corrélation entre la maturation osseuse et la taille d'une part, et entre la maturation osseuse et l'âge chronologique, d'autre part ?

1. La première question qui se pose est celle de savoir si l'ombre vue ou mesurée sur la radiographie correspond à l'apparition de l'os et à sa longueur réelle. H. CADENAT donne l'argument suivant : une radiographie prise un ou deux mois après une fracture, alors que celle-ci est cliniquement consolidée, ne montre pas encore le cal osseux alors qu'il existe, autrement dit la radiographie est le témoin du seul état de calcification.

« En ce qui concerne la radiographie du poignet, mesurer la tache de calcification n'est pas mesurer la longueur de l'os, c'est mesurer purement et simplement l'état de calcification ; cet état de calcification est-il en rapport avec la longueur de l'os ? Je ne le crois pas » (H. CADENAT).

La question est évidemment d'importance et remet en cause tout le système de détermination de la maturation squelettique à partir des radiographies ; mais on peut opposer les arguments suivants :

— Dans les conditions normales, la calcification du squelette est sensiblement la même d'un individu à un autre. Pour juger d'un état de décalcification squelettique, les rhumatologues utilisent une plaque dont l'opacité aux R.X. est proche de l'os normal. Si cette plaque peut ainsi servir de test c'est bien que l'on admet, dans les conditions normales, qu'il existe un état de calcification d'opacité aux R.X. sensiblement identique.

— Or, pour déterminer l'âge squelettique, on ne compare pas la longueur réelle de l'os avec celle lue sur les clichés, mais on compare des ombres radiologiques entre elles, les enquêtes étant faites à partir de radiographies.

— C'est la concordance des résultats, dans les dates d'apparition radiologique des os ou dans leur augmentation progressive de volume qui nous autorise à penser qu'il y a un rapport, un parallélisme entre l'augmentation de volume de ces taches de calcification et la maturation osseuse ou générale de l'individu. Le fait que chez les jumeaux ces taches de calcification apparaissent au même moment et évoluent parallèlement plaide en faveur de leur valeur d'indicateur de maturité.

Il n'en reste pas moins vrai que si l'on peut admettre comme hypothèse de travail que, dans les cas normaux, l'erreur due aux différences individuelles de l'état de calcification n'est pas considérable ; il en est autrement dans les cas pathologiques. Dans les cas comme le rachi-

tisme, où les troubles de calcification sont importants, le retard sur la radiographie est vraisemblablement supérieur au retard réel et il faudra attendre l'amélioration thérapeutique, suivie d'ailleurs sur les radiographies, pour obtenir des chiffres correspondant plus exactement à l'état de maturation de l'enfant.

2. *La différence de vitesse d'ossification entre les sexes* fut mise en évidence par plusieurs auteurs, notamment BADE (1899), HOLMGREN (1909), HASSELWANDER (1910), au niveau du pied, par KÖHLER en 1910, au niveau du coude, par STETTNER, en 1934. Elle fut surtout étudiée par PRYOR en 1928. Cet auteur a montré que l'avance des filles sur les garçons est petite au départ, qu'elle augmente pendant l'enfance, est maximum à la puberté, puis diminue à la maturité.

Certains auteurs, tels que WILKINS, LEFÈVRE et KOIFMANN, SCHMID et MOLL n'en ont pas tenu compte dans l'établissement de leurs standards. Cependant les auteurs qui ont établi des critères séparés pour les garçons et pour les filles trouvent une différence tout à fait significative : GREULICH et PYLE, PRYOR, STUART, ELGENMARK, ACHESON, etc... Dans le tableau comparatif des dates d'apparition des os du carpe on peut constater que les filles ont quelques mois d'avance pour les centres osseux apparaissant la première année, mais environ un an pour les centres apparaissant vers la quatrième ou la cinquième année. Cette différence augmente sensiblement, pour atteindre 1 an et demi et parfois plus aux alentours de la dixième année. Par exemple, sur le « cadran » de O. JEANNERET, on peut lire que l'apparition du premier point olécrânien correspond à une croissance moyenne de 8 ans chez les filles et de 9 ou 10 ans chez les garçons ; l'apparition du pisiforme se fait en moyenne à 9 ans chez les filles et à 11 ans chez les garçons.

La différence de maturité osseuse atteint son maximum au moment de la puberté ; comme l'ont en particulier souligné GREULICH et PYLE, il existe une relation constante entre le moment où a lieu l'augmentation maximum de taille annuelle et le moment de la puberté (pendant l'année précédant la première menstruation chez les filles) :

« La correspondance entre les changements du système reproducteur et osseux est si intime qu'il est souvent possible de prédire quand aura lieu la première menstruation après un examen de la radiographie du poignet pendant la période pré-pubertaire. »

Dans une même population, la puberté des garçons s'effectue un an et demi à deux ans après les filles : la différence de maturité osseuse sera grande à ce moment-là ; la soudure de la trochlée s'effectue par exemple à 12 ans chez les filles et à 14 ans chez les garçons, puis la différence s'estompe peu à peu : la soudure de l'épiphyse inférieure du radius, qui s'effectue de 15 à 16 ans dans le sexe féminin, s'effectue de 16 à 17 ans chez les garçons.

O. JEANNERET évalue cette avance à 10 ou 15 %.

Même si l'on admet que la détermination de l'âge squelettique ne peut atteindre une rigueur mathématique, on voit à quel risque d'erreur s'expose le clinicien qui utilise les mêmes critères pour les deux sexes, et, comme le soulignait le P^r M. LELONG, il paraît nécessaire actuellement d'établir des critères différents.

3) La maturation osseuse est-elle synchrone au niveau des différentes articulations ?

Nous avons vu que certains auteurs, pour avoir une vue exacte du phénomène de maturation osseuse prenaient les radiographies de tout un hémisquelette ou du moins de plusieurs articulations, de crainte qu'une seule articulation ne donne pas une idée exacte de l'ensemble (ENGELMARK, SONTAG, LEFÈVRE et KOIFMANN). Cette crainte est-elle justifiée ?

KELLY (H. J.) et MACY (I.G.) ont comparé six régions squelettiques entre elles : la main, le coude, l'épaule, la hanche, le genou et le pied : ils ont calculé les « âges osseux » de chacune de ces articulations et les ont comparées deux à deux. Ce travail a été fait à partir d'une soixantaine de dossiers radiographiques et environ dans la moitié des cas la différence entre les deux résultats n'excède pas trois mois, et un intervalle de 10 mois de part et d'autre de la moyenne englobe pratiquement toutes les différences.

Sauf dans certains cas particuliers où une précision à quelques mois près est indispensable, la plupart des auteurs ont admis que chez le

sujet normal l'examen d'une partie du squelette était une approximation suffisante pour représenter la maturation osseuse de l'ensemble. (SIMMONS, 1944, STETTNER et BALDWIN, TODD).

Certains auteurs ont insisté en particulier sur l'*asymétrie* entre les deux moitiés du corps, notion qui les conduit à ne déterminer le degré d'ossification qu'en comparant les radiographies du côté droit et du côté gauche.

Les travaux de DREIZEN (S.), RICHARD (M.), SNODGRASSE, qui ont étudié cette question à partir de 450 radiographies des mains droite et gauche des enfants de Hillman Hospital de Birmingham, tendent à prouver que si cette asymétrie existe elle n'est pas très importante.

Les auteurs utilisent les standards de GREULICH et PYLE, pour étudier les 28 centres osseux du carpe et du métacarpe (après avoir éliminé le pisiforme et la sésamoïde du pouce). Leurs résultats sont les suivants :

- Age squelettique de la main droite excédant celui de la gauche : 52 % des cas.
- Age squelettique de la main droite égalant celui de la gauche : 26 % des cas.
- Age squelettique de la main droite inférieur à celui de la gauche : 22 % des cas.

La différence est statistiquement significative puisqu'elle dépasse de beaucoup la moitié des cas, mais lorsque les auteurs se livrent à l'étude quantitative de cette différence on s'aperçoit que si elle est fréquente, elle est minime, puisque :

- Dans 87 % des cas, l'inégalité se situe entre 1 et 3 mois.
- Dans 11,5 % des cas, l'inégalité se situe entre 4 et 6 mois.
- Dans 1,5 % des cas, l'inégalité se situe au-delà de 6 mois.

Inégalité inférieure à celle que TODD accordait lorsqu'il évaluait cette divergence entre les deux membres opposés à 6 mois.

Dans la grande majorité des cas, cette inégalité peut donc se situer de 1 à 3 mois. Elle apparaîtra d'autant moins importante que le degré d'asymétrie ou plus exactement les différences de maturation osseuse des différents os de la même main excède cette inégalité dans 98 % des cas. Dans le travail de DREIZEN et de ses collaborateurs, 440 radio-

graphiques sur les 450 que possédaient les auteurs présentaient une différence de maturation entre les différents os de la même main supérieure à 3 mois.

TORGERSEN dénombrant le nombre de centres osseux présents dans la main chez 40 enfants de moins de 9 ans, trouve que :

- La main droite est plus en avance que la gauche dans 60 cas.
- La main droite est plus en retard que la gauche dans 95 cas.
- Les deux mains sont à égalité dans 249 cas.

Dans une étude similaire, FLECKER trouve dans 25 cas un centre épiphysaire, présent d'un seul côté ; la répartition en est la suivante : 16 fois du côté droit, 9 fois du côté gauche.

CAFFEY constate que cette symétrie est bien plus parfaite au niveau des phalanges et des os longs en général qu'au niveau des os courts comme ceux du carpe.

ELGENMARK, lors de l'étude dont nous avons déjà fait état, a comparé les deux moitiés du corps sur 59 enfants (28 garçons et 31 filles) ; il a compté et comparé le nombre de centres d'ossification pour chaque âge et chaque hémi-squelette : l'accroissement est parallèle la première année, mais après l'apparition de centres d'ossification des épiphyses métacarpiennes, on observe fréquemment une différence, minime toutefois, puisqu'elle n'excède pas la valeur de 1 centre.

Citons pour conclure l'opinion de PRYOR qui pense qu'étant donné le nombre important de centres d'ossification, il est souvent très difficile de trouver une croissance homogène à l'intérieur de chaque main, alors que la symétrie entre les deux côtés est presque parfaite.

4. *Méthodologie.*

Nous avons vu qu'en ce qui concerne la taille, il pouvait y avoir des différences importantes selon les facteurs ethniques, socio-économiques, etc..., que la maturation osseuse elle-même était soumise à ces différents facteurs. Nous avons constaté d'autre part que les travaux des premiers auteurs au début du siècle n'ont souvent pas de bases statistiques précises, nous ignorons parfois sur combien de cas a été établi leur enquête, ou encore quelle était la taille des enfants examinés, ce qui rend la comparaison entre les différents travaux très aléatoire.

Pour qu'un travail soit scientifiquement valable, il faut :

1. Posséder un nombre de cas suffisant pour donner à l'enquête une valeur statistique ;
2. Etablir les normes de taille et de poids en fonction de l'âge ;
3. Définir les caractéristiques propres à chaque groupe, notamment :
 - la race ;
 - le sexe ;
 - les facteurs socio-économiques (alimentaires surtout) ;
 - l'état de santé de l'enfant, l'existence éventuelle de maladies intercurrentes.
4. Préciser la méthode employée ;
5. Ne pas se contenter de donner un chiffre moyen approximatif, mais, étant donné que l'on admet que la croissance staturale et osseuse se répartit selon une distribution normale, établir une courbe de dispersion qui permet de calculer la valeur moyenne et l'écart type (comme l'ont fait SONTAG, SCHMID et MOLL).
6. Les enquêtes sur la croissance devraient être indépendantes de l'âge chronologique (O. JEANNERET).

Un très intéressant article de H.-J. KELLY et I.-G. MACY compare la *valeur des différentes méthodes*, en utilisant les radiographies de 17 garçons et de 10 filles âgés de 3 à 15 ans. Il s'agissait d'enfants en bonne santé et vivant dans de bonnes conditions, ayant des activités scolaires normales et ayant été jugés cliniquement sains, physiquement et mentalement normaux.

Les clichés radiographiques ont été soumis à l'analyse de plusieurs méthodes :

— D'abord une méthode métrique indiquant la taille des os, faite d'après les critères de BALDWIN (Baldwin standards) donnés en terme de surface, et d'après les critères de KELLY (Kelly Standard) qui déterminent le plus grand diamètre des os carpiens et des épiphyses en relation à la taille du poignet. Ces mesures furent faites par H.-J. KELLY.

— Ensuite une méthode quantitative, celle de TODD, appliquée par le D^r TODD lui-même, selon les principes que nous avons déjà décrits, et aussi par la méthode de GREULICH et PYLE (données longitudinales) indiquant le développement squelettique.

— De plus, une comparaison fut faite entre le développement de la main et celui de cinq autres régions squelettiques (coude, genou, pied, hanche, épaule) .

Les résultats de ces investigations ont été les suivants : quelle que soit la méthode employée *par le même chercheur*, jusqu'à l'âge de 10 ans, les résultats sont sensiblement les mêmes à 4 mois près. Alors que deux chercheurs différents, utilisant la même méthode, trouvent des résultats dont la différence peut atteindre 10 mois.

Après l'âge de 10 ans, cependant, les courbes établies, ayant en abscisse l'âge osseux et en ordonnée l'âge civil, divergent de façon importante. Cette différence devient très nette vers 12 ans.

CORRELATION MATURATION OSSEUSE/TAILLE MATURATION OSSEUSE/AGE CHRONOLOGIQUE

Comme nous avons pu le constater dans le rappel historique et comme nous l'ont montré les études de O. JEANNERET, les auteurs se sont attachés à rechercher le degré de corrélation entre la maturation osseuse et la taille, en particulier STETTNER, SAWTELL, CHRISTIE, ELGENMARK, SIMMONS et GREULICH en 1943 ; tous ces auteurs trouvent qu'il y a une relation directe entre *accroissement statural et maturation osseuse* : le nombre de centres apparus à la naissance ou pendant l'enfance est directement proportionnel à la taille du nourrisson et de l'enfant.

Ainsi ELGENMARK obtient un coefficient de corrélation maturation osseuse/taille de 0,95 qui s'abaisse autour de 0,30-0,40 s'il maintient l'âge constant ; O. JEANNERET obtient un coefficient de 0,80 qui s'abaisse à 0,70 en maintenant l'âge constant ; BAYLEY, SIMMONS et GREULICH (étude de 7 à 12 ans) obtiennent des coefficients de corrélation entre 0,60 et 0,68. Dès 13 ans la valeur de la corrélation diminue très nettement, car la survenue des premières règles à des âges différents a pour corollaire une décélération de la croissance staturale mais sans ralentissement de la maturation osseuse.

En ce qui concerne la corrélation *maturation osseuse/âge chronologique*, ELGENMARK obtient un coefficient de 0,96 à 0,82 selon l'âge envisagé, mais si la taille est maintenue constante, la valeur des coefficients s'abaisse fortement : 0,19 à 0,44 selon la classe d'âge envisagée.

Il semble donc que les relations soient beaucoup plus étroites entre la maturation osseuse et la taille qu'entre la maturation osseuse et l'âge chronologique, et cette relation entre la taille et la maturation osseuse devient encore plus constante si au lieu de la taille absolue de l'enfant on utilise la taille relative, c'est-à-dire le pourcentage de la taille définitive telle que l'a calculée BAYLEY. En utilisant ce procédé, BAYLEY, pour les classes d'âge de 13,7 et 14,2 ans, voit les coefficients de corrélation passer de 0,64 et 0,66 à 0,88 dans les deux groupes (cité par O. JEANNERET).

COMPARAISON DES RESULTATS

Les médecins français, les pédiatres ou les endocrinologues utilisent couramment les Atlas de GREULICH et PYLE, les tables de WILKINS, mais ces résultats d'études menées sur des enfants de race anglo-saxonne, sur de petits Américains dont les familles ont atteint un niveau socio-économique élevé, sont-ils applicables dans nos pays d'Europe occidentale, sont-ils applicables à des races latines ?

LA TAILLE

Le premier point de comparaison est *la taille* ; malheureusement, tous les auteurs ne donnent pas la relation entre l'âge chronologique et la taille des enfants qu'ils ont étudiés. Pour la taille des petits Français nous avons un excellent outil de travail avec l'enquête de l'I.N.S.E.E. (Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques) faite en 1950 sur tous les enfants d'âge scolaire. Pour chaque âge, les tailles (et les poids) sont répartis en 100 centiles (la moyenne étant 50 centiles).

R. SCHOLLER a établi une comparaison entre les moyennes de tailles aux U.S.A. vers 1830 d'après les études de VICKERS-HARDING et celle des jeunes Français de 1950 (enquête de l'I.N.S.E.E.) et n'a pas trouvé de différence significative entre les moyennes de taille.

Le même auteur a montré que les moyennes des tailles d'ENGELBACH (U.S.A.) correspondaient au percentile 60 de la distribution des normes de l'I.N.S.E.E.

Nous avons comparé les tailles données par SCHMID et MOLL pour les petits Allemands en 1960 avec les tailles de l'enquête française. Nous avons noté une petite infériorité staturo-pondérale des enfants français. Cf. table ci-dessous). Mais, par contre, en comparant les tables de l'I.N.S.E.E. avec les tables très complètes de MEREDITH (H.-U.) (citées par STUART (H.-C. et S.-S.) dans « Physical Growth and Development », Philadelphie, 1950), nous avons trouvé une diffé-

rence très nette, dans le sens d'un retard des enfants français. Voici quelques chiffres significatifs (nous avons pris le chiffre moyen ou percentile 50) :

Age chrono- logique	Table de MEREDITH		Table de SCHMID		I.N.S.E.E.	
	G	F	G	F	G	F
5	111,3	109,7	110	109	109,7	107,8
6	117,5	115,9	116	115	114,6	113,8
7	124,1	122,3	121	120	119,5	118,8
8	130,0	128,0	126	125	124,8	123,6
9	135,5	132,9	131	130	129,3	128,5
10	140,3	138,6	136	135	134,0	133,5
11	144,2	144,7	140	140	137,8	139,4

Ces chiffres montrent que cette différence, si elle est de l'ordre de quelques mois seulement avec les enfants allemands (3 à 4 mois environ jusqu'à 9 ans, 6 mois ensuite) dépasse un an avec les enfants américains (à partir de l'âge de 7 ans).

La *maturation osseuse* étant le plus souvent exprimée en fonction de l'âge chronologique, on est en droit de se demander si, pour un âge chronologique égal, il existe une différence de maturation osseuse et si les Atlas étrangers donnent des références valables pour des enfants français.

LA MATURATION OSSEUSE

1. *Comparaison entre la maturation osseuse des jeunes Français et des jeunes Américains.*

O. JEANNERET a mené une étude comparative à partir de 315 enfants de sexe masculin, français, de l'Ecole Hériot (école militaire pour enfants de troupe), faisant partie d'une enquête longitudinale de l'Institut National d'Hygiène. Ces garçons, âgés de 8 à 14 ans, sont d'origines diverses mais sont soumis au même genre de vie et de nourriture ; leur niveau de vie serait un peu en dessous de la moyenne des enfants français.

L'âge osseux de ces enfants a été calculé sur une radiographie du poignet et de la main droite. D'après les normes de l'Atlas de GREULICH et PYLE, les résultats sont les suivants :

Garçons Nord-Américains GREULICH et PYLE		Garçons français de l'Ecole Hériot	
Age osseux moyen en année	Nombre de cas	Age osseux moyen	
8 ans	41	7 ans 5 mois	
9 ans	47	8 ans	
10 ans	53	8 ans 11 mois	
11 ans	49	10 ans 1 mois	
12 ans	41	11 ans 8 mois	
13 ans	43	12 ans 6 mois	
14 ans	41	12 ans 11 mois	

Les enfants français présentent donc dans cette étude un retard qui va de 4 à 13 mois. Les enfants étudiés par GREULICH et PYLE venant d'un milieu très aisé, il est difficile de préciser la part respective du facteur ethnique et du facteur « milieu ». La variabilité du retard d'une classe d'âge à l'autre est sans doute due au fait que le matériel de O. JEANNERET a été sélectionné selon le mode transversal et que chaque enfant n'a participé qu'une seule fois à cette étude.

2. Comparaison entre la maturation osseuse des jeunes Anglais et des jeunes Américains.

ACHESON, au cours de son étude sur les enfants anglais nés à Oxford entre 1944 et 1948, établit une comparaison entre l'âge osseux des enfants examinés, calculé par la méthode de TODD et par sa propre méthode. Les résultats étant donnés en fonction de l'âge chronologique, nous pouvons constater que l'âge osseux des petits Anglais est inférieur aux normes de TODD établies pour des enfants américains :

Enfants américains			Enfants d'Oxford	
Normes de TODD	Nombre d'enfants		Maturité squelettique	
Age	G	F	G	F
6 mois	336	343	2 mois	4 mois
12 mois	354	296	9,2 mois	8,4 mois
18 mois	315	306	14,6 mois	13,5 mois
24 mois	313	305	20,8 mois	18,2 mois
30 mois	257	276	27,1 mois	24,8 mois
36 mois	268	276	33,1 mois	32,7 mois
42 mois	254	252	37,4 mois	38,3 mois
44 mois	265	261	42,2 mois	45,9 mois
54 mois	235	243	48,5 mois	52,9 mois
60 mois	250	244	54,4 mois	58,9 mois

On voit que ce retard n'est pas très important puisqu'il ne dépasse pas six mois et que le grand nombre d'enfants examinés par ACHESON en fait une comparaison statistiquement valable.

COMPARAISON DES DATES MOYENNES D'APPARITION DES OS DE LA MAIN SELON DIFFÉRENTS AUTEURS
AGE EN ANNEES[illegible]

PRESENTATION DE NOTRE TRAVAIL PERSONNEL

RADIOGRAPHIE DU POIGNET ET AGE OSSEUX ENTRE 5 ET 11 ANS

Notre but a été d'étudier, par un travail statistique, la croissance des os du poignet chez des enfants français des deux sexes ayant une croissance staturo-pondérale apparemment normale et moyenne entre les âges de 5 et 11 ans.

Pour répondre à ces diverses conditions, nous avons procédé de la façon suivante :

1. Critère de développement staturo-pondéral normal : nous avons pris pour base l'important travail réalisé en 1950 par l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques, qui a été établi sur l'ensemble de la population scolaire française. Dans ce travail, les poids et taille des enfants de chaque sexe et de chaque âge sont présentés sous forme de tableaux (cf. fig. 1) échelonnés de 0 à 100 centiles. Nous avons arbitrairement choisi les poids et taille ne s'écartant que de 10 % de la moyenne, c'est-à-dire compris entre les graduations 40 et 60 du tableau.

Exemple (fig. 1) : la table représente les poids et taille des garçons de 8 ans. Nous avons retenu les garçons dont la taille est comprise entre 123,42 cm et 126,1 cm et dont le poids est compris entre 23,1 kg et 25 kg.

2. Munis de ces tables de croissance staturo-pondérale normale, nous avons compulsé, dans de nombreuses écoles publiques et privées, les dossiers médicaux des enfants et retenu ceux dont les poids et taille concordaient avec les données précédentes, en éliminant cependant ceux dont les noms avaient une consonnance étrangère (en sachant que ce critère n'a qu'une valeur relative).

(1) Cette étude a été présentée par H. DEPLAGNE, J. VILLEMEX, L. TOURTET, comme résultat d'études, au Congrès de la Société Française d'Orthopédie Dento-Faciale.

ETALONNAGE STATURO-PONDERAL DES ÉCOLIERS

(Enquête biométrique scolaire - Mai 1950)

SEXE GARÇONS AGE 8 ANS (Années revuées)

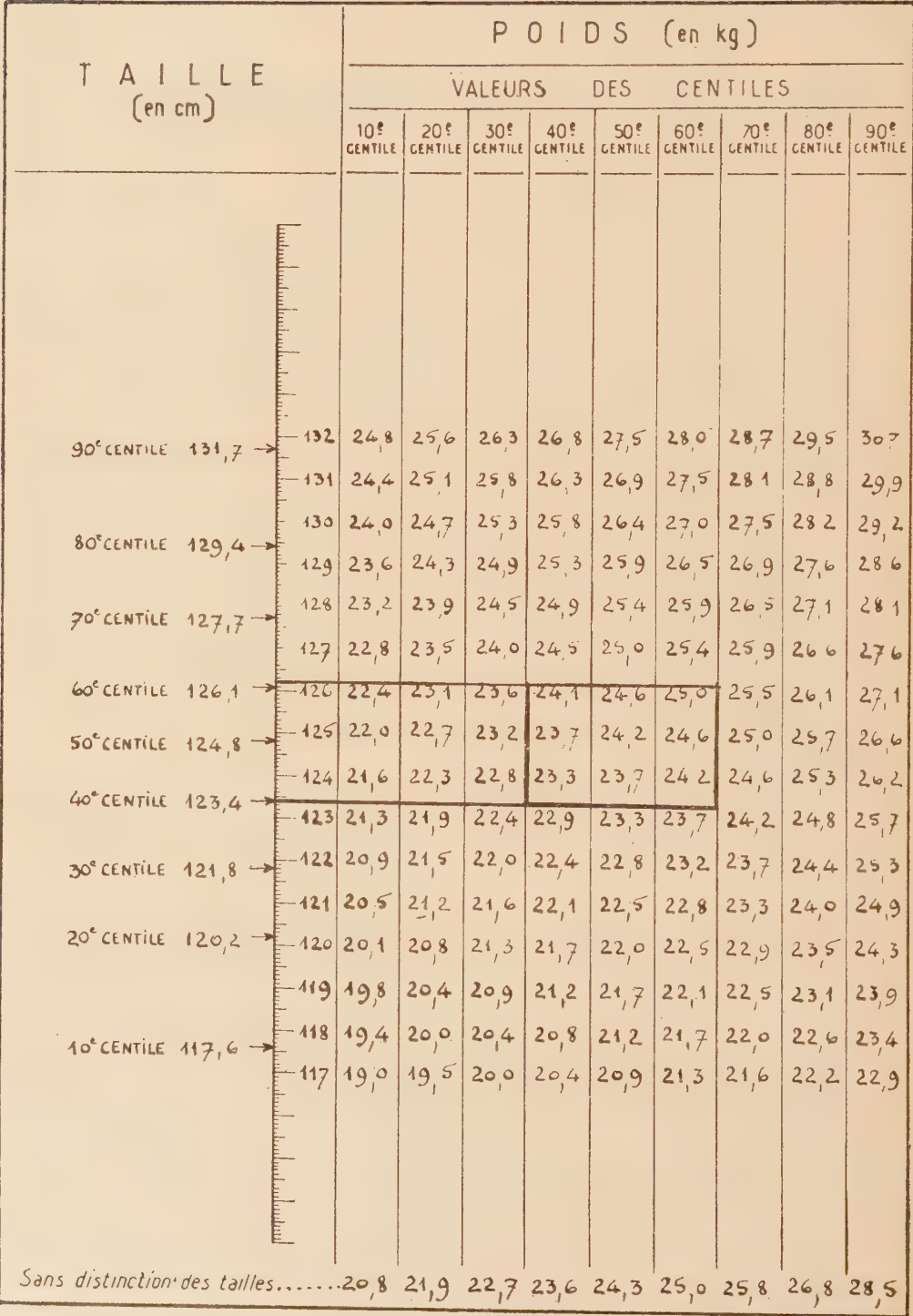


Fig. 1

En procédant de la sorte et à partir de 12 000 dossiers consultés, nous avons retenu 1 150 dossiers. Ces enfants ont été convoqués dans les quinze jours qui précèdent ou suivent l'anniversaire de leur date de naissance ou six mois plus tard. Sur 1 150 enfants convoqués, 510 ont répondu à notre convocation. Certains sont revenus à intervalle régulier tous les six mois ou tous les ans, si bien que nous possédons 602 dossiers.

Lors de chaque convocation, nous avons, après vérification du poids et de la taille, pris une radiographie du poignet.

BARÈME - TAILLE - POIDS

AGE	♂				♀			
	TAILLE		POIDS		TAILLE		POIDS	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
5	108,2	111,2	16,5	18	106,0	109,5	16,1	18
5,6	110,7	113,6	17,8	19,35	109,0	112,0	17,15	19,05
6	113,3	115,9	19,1	20,7	112,0	114,8	18,2	20,1
6,6	115,8	118,2	19,95	21,7	114,7	117,4	19,2	21,15
7	118,3	120,5	20,8	22,7	117,4	121,1	20,2	22,2
7,6	120,8	123,3	21,9	23,85	119,8	122,5	21,15	23,3
8	123,4	126,1	23,0	25,0	122,2	125,0	22,1	24,4
8,6	125,6	128,4	24,1	26,25	124,6	127,5	23,25	25,75
9	127,9	130,7	25,2	27,5	127,0	130,0	24,4	27,1
9,6	130,2	133,0	26,35	28,8	129,5	132,4	25,65	28,4
10	132,5	135,4	27,5	30,1	132,0	134,9	26,9	29,7
10,6	134,5	137,6	28,8	31,55	134,6	137,7	28,4	31,6
11	136,6	139,9	30,1	33,0	137,2	140,5	29,9	33,5

3. Comme nous l'ont montré les divers travaux que nous avons vus au cours de cette étude générale, l'ossification étant plus souvent proportionnelle à la taille qu'à l'âge chronologique, il est plus logique d'établir des courbes d'ossification en fonction de la taille. Par contre, du point de vue pratique, il était plus aisé de lire sur nos courbes de croissance le résultat directement en « âge osseux ». Mais, étant donné l'équivalence tout à fait stricte entre l'âge civil des enfants examinés et les critères de taille et de poids que nous avons choisis, il est tout à fait aisé de remplacer l'un par l'autre. Voici la table des équivalences extraites, comme nous l'avons dit, de l'enquête de l'I.N.S.E.E. et comprenant les tailles et les poids du quarantième au soixantième centile.

TECHNIQUE DE PRISE DE LA RADIOGRAPHIE.

Le poignet de l'enfant est appuyé sur la plaque de radiographie, elle-même située dans un plan strictement horizontal. Le tube de R.X. est placé à 65 cm de la plaque radiographique, le cône strictement vertical, et son axe arrivant sur le grand os à l'union du tiers proximal et du tiers moyen d'une ligne unissant le milieu de l'articulation radio-carpienne et la troisième articulation métacarpo-phalangienne (fig. 2).

La distance à laquelle ces radiographies ont été prises nous ont permis de les considérer comme des téléradiographies permettant la réalisation de mesures linéaires.

Nous possédons ainsi un minimum de 20 radiographies (souvent plus) pour chacun des groupes de garçons et de filles de six mois en six mois, entre les âges de 5 et 11 ans (sauf pour les garçons de 5 ans et 5 ans et demi pour lesquels nous ne possédons que 10 et 12 radiographies seulement). C'est l'étude de ces diverses radiographies du poignet qui fait l'objet du travail que nous vous présentons maintenant.

Les résultats de cette étude seront présentés de deux façons :

— d'une part à l'aide d'un tableau schématique, pour chaque sexe, de la radiographie moyenne du poignet de 6 mois en 6 mois, entre 5 et 11 ans;

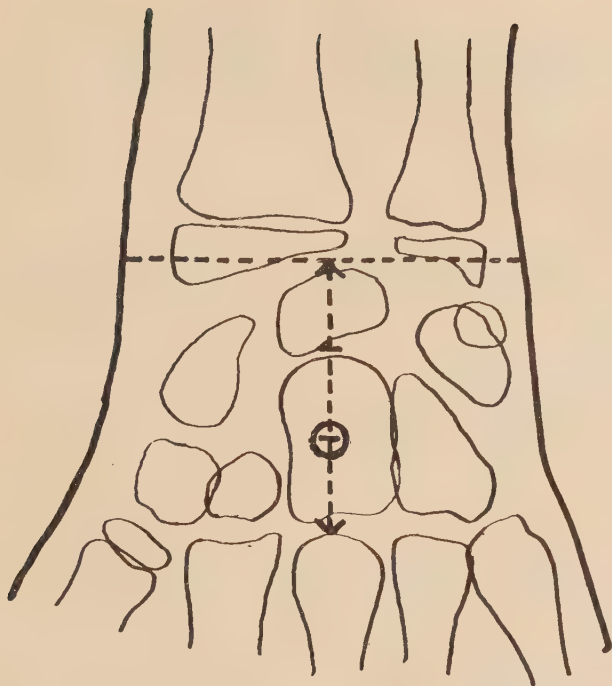


Fig. 2.

— d'autre part, sous la forme de courbes de croissance des différents os du poignet pour chaque sexe, courbes établies à partir des mensurations que nous avons effectuées sur chaque radiographie. Ces courbes permettent, à partir de n'importe quelle radiographie du poignet prise entre 5 et 11 ans dans les conditions précédemment énoncées, d'attribuer un « âge osseux » précis à chaque os du poignet : l'âge osseux définitif sera la moyenne des âges des différents os.

Les tableaux schématiques ci-contre (fig. 3 et 4) de la radiographie moyenne pour chaque sexe appellent peu de commentaires. Nous adjoindrons cependant un tableau récapitulatif des *dates moyennes d'apparition des différents os du poignet* : nous considérons que la date d'apparition correspond à la présence de cet os dans 50 % des cas. Nous avons ainsi obtenu :

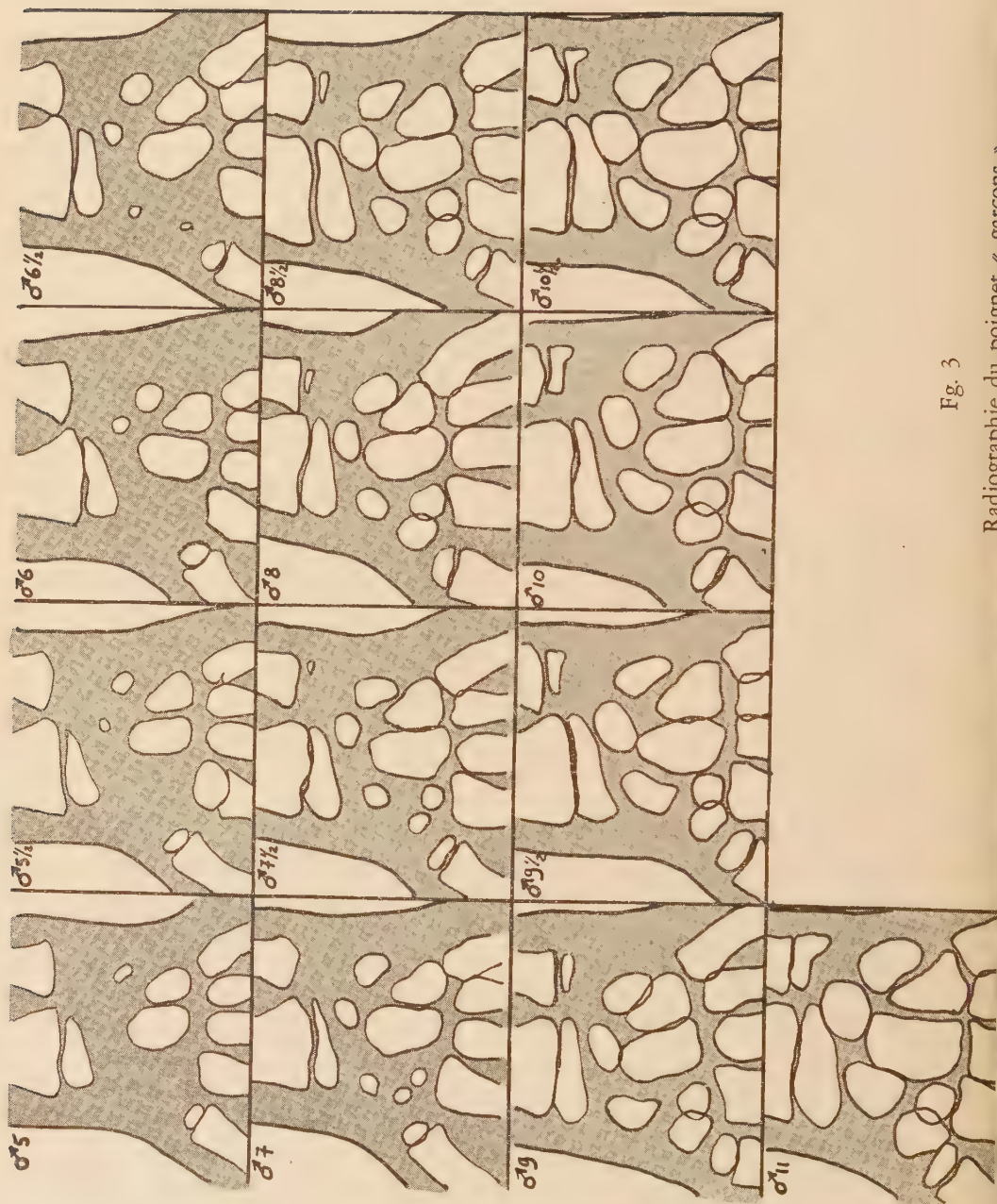


Fig. 3

Radiographie du poignet « garçons »

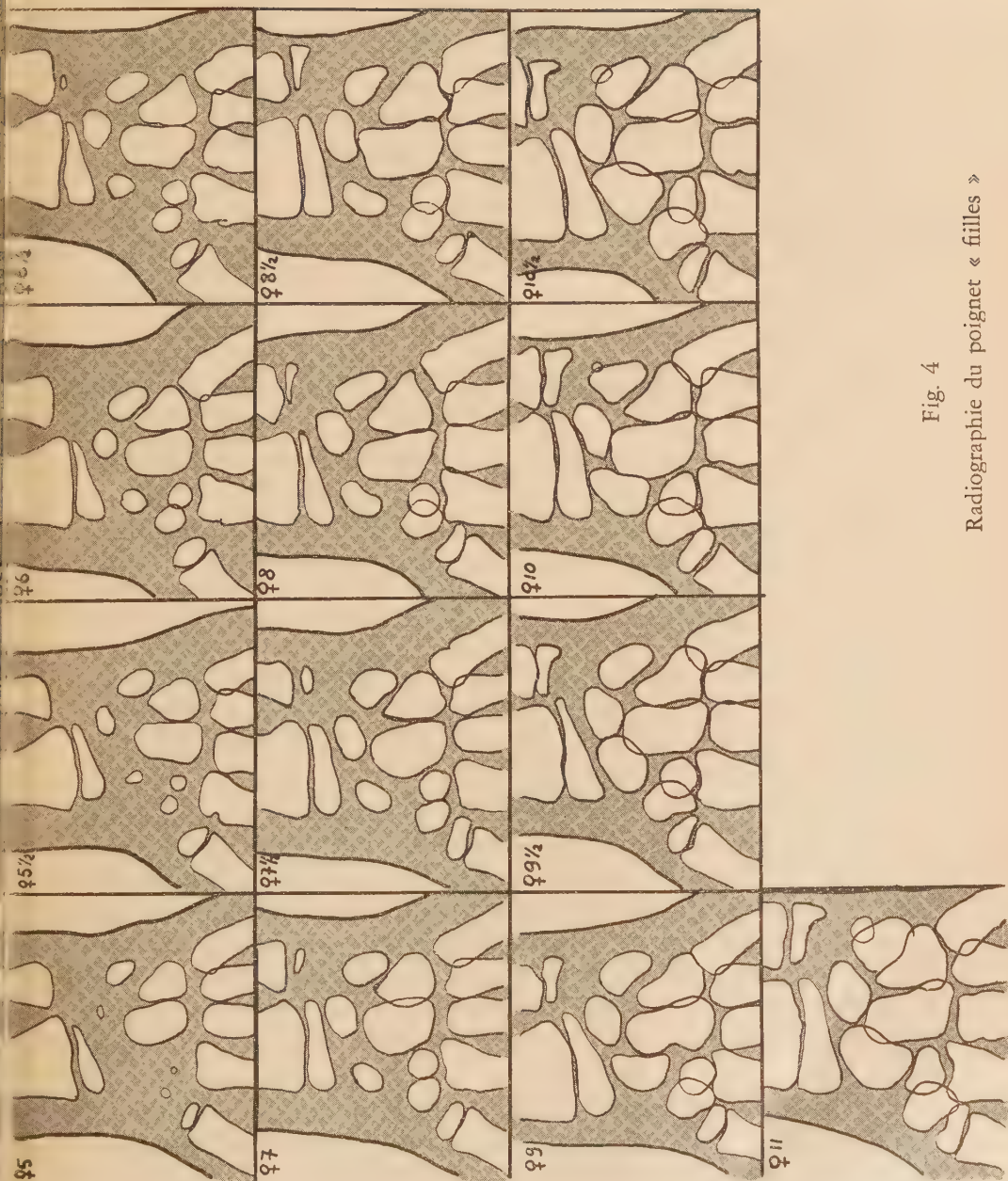


Fig. 4
Radiographie du poignet « filles »

	Garçons	Filles
— Extrémité inférieure du radius	+	+
— Extrémité inférieure du cubitus	7,2	6,0
— Scaphoïde	6,2	5,2
— Semi-lunaire	5,0	+
— Pyramidal	+	+
— Pisiforme	—	9,4
— Trapèze	6,2	+
— Trapézoïde	6,6	+
— Grand os	+	+
— Os crochu	+	+

Le signe + correspond à l'existence habituelle de cet os dès l'âge de 5 ans.

Le signe — correspond à l'absence habituelle de cet os à l'âge de 11 ans.

Notons également que l'apophyse styloïde du cubitus apparaît vers 9 ans et demi chez les garçons et vers 8 ans chez les filles.

COURBES DE CROISSANCE DES OS DU POIGNET.

Sur chaque radiographie, nous avons pris, à l'aide d'un double décimètre, 40 mesures à 1/4 de millimètre près. Chacune de ces mesures a été reportée en graphique pour l'ensemble des radiographies de 6 mois en 6 mois, pour chaque sexe.

De ces 40 mesures, nous avons éliminé d'une part les petits diamètres des différents os qui n'augmentent pas de façon significative au cours de ces six années, d'autre part les espaces entre les os qui ne se modifient pas de façon valable. Nous avons retenu les neuf mesures les plus typiques : une mensuration pour chacun des os suivants : extrémité inférieure du radius, extrémité inférieure du cubitus, scaphoïde, semi-lunaire, pyramidal, trapèze, trapézoïde, grand os et os crochu. Les mensurations ont été prises de la façon suivante (fig. 5) :

— *Extrémité inférieure du radius* : distance maxima entre les extrémités externe et interne de l'épiphyse inférieure du radius (lorsque l'extrémité interne ou cubitale de l'os est dédoublée, c'est toujours la plus petits distance qui sera choisie).





Fig. 5

Mensurations des os du poignet

— *Extrémité inférieure du cubitus* : distance maxima entre les extrémités externe et interne de l'épiphyse inférieure du cubitus (lorsque l'apophyse styloïde est assez développée, les points extrêmes ne sont pas sur un même plan : on mesure alors la projection horizontale, comme l'indique le schéma de la fig. 6).



Fig. 6

Mensurations de l'extrémité inférieure du cubitus

— *Scaphoïde, semi-lunaire, pyramidal* : mesure de la distance maxima (cf. fig. 5).

— *Trapeze, trapézoïde* : mesure de la longueur maxima (fig. 5).

— *Grand os* : mesure de la hauteur maxima (fig. 5) ; cette mesure s'effectue dans le jeune âge selon un axe sensiblement vertical ; au fur et à mesure que l'os évolue vers sa forme définitive, l'axe de mesure s'incline en bas et en direction cubitale ou interne, comme l'indique la fig. 7.

— *Os crochu* : la mesure s'effectue de la partie supérieure de l'os (ou sommet) à la partie médiane de la base.

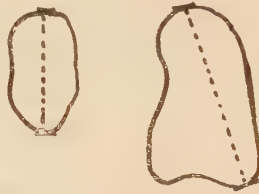
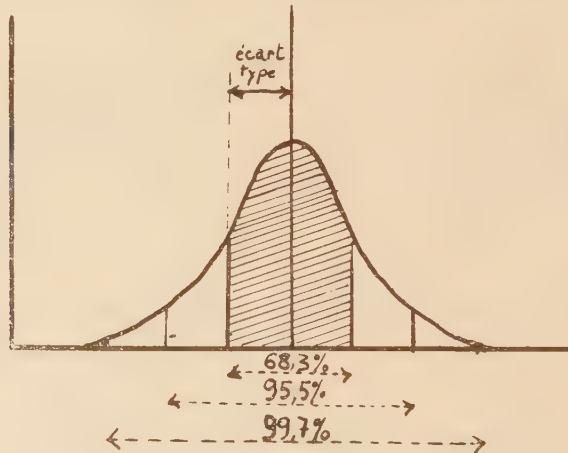


Fig. 7
Mensurations du Grand Os

Pour un os donné, à chaque âge, nous avons établi une courbe de dispersion selon le principe de la courbe de GAUSS (fig. 8) qui englobe au moins 68,3 % des cas (cf. note ci-dessous). Nous avons



Courbe de GAUSS

Fig. 8
Courbe de GAUSS

obtenu ainsi une valeur moyenne et un « écart type » qui nous ont permis d'établir une courbe de croissance normale.

Les courbes que nous avons obtenues sont représentées sur le feuillet dépliant (fig. 9). Nous avons porté en abscisses les âges et en ordonnées les mensurations millimétriques.

L'écart type varie selon les courbes entre 9 mois et 1 an. Voici, à titre d'exemple (fig. 10), la courbe de croissance du pyramidal chez

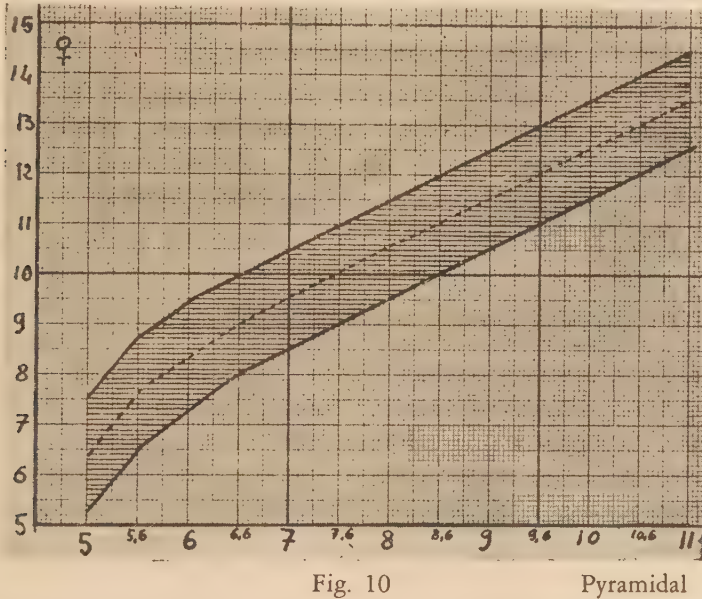


Fig. 10

Pyramidal

les filles avec, au milieu, la courbe moyenne entourée des courbes maxima et minima en fonction de l'écart type : la partie hachurée entre ces deux dernières courbes englobe environ 70 % des cas

N. B. — *Courbe de GAUSS* : si l'on étudie une population biologique ayant une distribution normale (ce qui est admis pour la croissance pondérale, staturale ou osseuse des enfants), il est prouvé que, reportée sur un graphique, cette population biologique se répartit selon une « courbe en cloche » dite courbe de GAUSS. Le sommet de la courbe correspond à la « Moyenne » ; « l'écart type » représente la variation normale qui, reportée de part et d'autre de la moyenne, englobe 68,3 % des cas. Le double de l'écart type englobe 95,5 % des cas, et le triple de l'écart type englobe 99,7 % des cas.

Exemple : taille des garçons de 11 ans : la moyenne est de 138,1 cm, l'écart-type est de 5,7 cm ; cela signifie que 68,3 des garçons de 11 ans ont une taille comprise entre 132,5 et 143,9 cm.

examinés. Ainsi, pour un os pyramidal de 10 mm de long, correspond un âge compris entre 6 ans 6 mois et 8 ans 6 mois, avec une valeur moyenne de 7 ans 6 mois.

REMARQUES.

— A notre étonnement, nous avons observé que la croissance de l'extrémité inférieure du radius et la longueur du grand os étaient superposables chez les garçons et chez les filles : c'est pourquoi il n'existe qu'une seule courbe de croissance pour ces deux os, ces courbes étant communes pour les garçons et les filles.

— Si certains enfants présentent des radiographies assez homogènes (chaque os pris séparément ayant un âge assez voisin), d'autres au contraire semblent présenter une avance d'ossification pour certains des os du poignet et un retard pour d'autres : *d'où la nécessité de mesurer tous les os.*

Application pratique pour la détermination de l'âge osseux.

Les radiographies du poignet étant prises dans les conditions précédemment énoncées, il convient de mesurer la longueur des neuf os que nous avons pris comme témoins, puis, en se reportant aux courbes de croissance (et en tenant compte du sexe), de lire sur la courbe l'âge correspondant à chaque os. La moyenne de ces 9 mesures donne l'âge osseux.

L'âge ainsi obtenu peut être considéré comme valable à un an près.

1^{er} exemple : Radiographie d'un garçon.

Extrémité inférieure du radius ..	19	mm : 7 ans	} 7 ans 9 mois
Extrémité inférieure du cubitus ..	4,75	mm : 7 ans 11 mois	
Scaphoïde	6,75	mm : 7 ans 9 mois	
Semi-lunaire	9	mm : 8 ans 2 mois	
Pyramidal	8,25	mm : 7 ans	
Trapèze	1	mm : 6 ans 4 mois	
Trapézoïde	5,5	mm : 7 ans 8 mois	
Grands os	18,25	mm : 8 ans 9 mois	
Os crochu	13	mm : 8 ans	

2° exemple : Radiographie d'un garçon.

Extrémité inférieure du radius ..	19,75 mm : 7 ans 4 mois
Extrémité inférieure du cubitus ..	0
Scaphoïde	0
Semi-lunaire	0
Pyramidal	6,5 mm : 6 ans
Trapèze	2 mm : 6 ans 6 mois
Trapézoïde	4 mm : 7 ans
Grands os	16,5 mm : 7 ans 2 mois
Os crochu	11,5 mm : 6 ans 6 mois

La moyenne obtenue à partir de 6 os présents est de 6 ans 9 mois. Dans ces conditions, nous ne tenons pas compte de l'absence du point de l'épiphyse inférieure du cubitus (qui apparaît normalement à 7 ans 2 mois). Par contre, nous incluons dans le calcul de l'âge osseux la date d'apparition moyenne du scaphoïde (6 ans 2 mois) et du semi-lunaire (5 ans 4 mois) qui devraient être présents. De cette façon, l'âge osseux de cette radiographie du poignet est ramené à 6 ans 6 mois.

CRITIQUES.

1. — Le nombre relativement peu élevé des radiographies pour chaque âge et pour chaque sexe peut prêter à discussion : les courbes que nous avons présentées ne sont peut-être pas définitives, car l'étude d'un plus grand nombre de radiographies nous permettra, en diminuant le risque d'erreur, de modifier nos courbes... mais celles-ci sont relativement homogènes, ce qui nous rassure quelque peu.

2. — Dans un but de simplification nous n'avons utilisé que les os du carpe. Or certains auteurs trouvent que l'utilisation des centres osseux de la main entière donne des résultats plus précis, les épiphyses du métacarpe et des phalanges étant moins soumises à variation que les os courts du carpe.

RADIOGRAPHIE DU COUDE DE PROFIL ET DU PIED

Toujours dans le même but de trouver un moyen précis de déterminer l'âge osseux entre 5 et 11 ans, qui soit d'utilisation pratique, c'est-à-dire réduisant le risque d'irradiation pour l'enfant, facile à réaliser et peu onéreuse, nous avons cherché d'autres points osseux apparaissant à ces âges.

En recherchant sur les tables de WILKINS, nous avons trouvé :

— L'apparition du point calcanéen postérieur à 8 ans visible sur une radiographie du pied de profil ;

— L'apparition du point olécrânien à 9 ans, visible sur le coude de profil.

MATÉRIEL.

Notre matériel est le même que pour les radiographies de poignet, aux âges proches de l'apparition des points recherchés nous avons pris une radiographie du pied et du coude ; le nombre de dossiers radiographiques que nous possédons est le suivant :

	<i>Radiographie du pied</i>		<i>Radiographie du coude</i>	
	Garçons	Filles	Garçons	Filles
7 ans 1/2	23	26		
8 ans	24	22		
8 ans 1/2	23	15	22	19
9 ans			21	22
9 ans 1/2			11	12

TECHNIQUE.

Pied ou coude reposant sur la plaque de profil, le tube de R.X. se trouvant à 65 cm de la plaque radiographique, la distance nous permettant, comme pour les radiographies de la main, d'effectuer sans trop d'erreur des mesures linéaires.

RESULTATS

I. — LE POINT OLÉCRANIEN.

a) Pour déterminer sa *date d'apparition* nous avons calculé le pourcentage des cas où il était présent :

Age	GARÇONS			FILLES		
	Cas examinés	Présence du point	%	Cas examinés	Présence du point	%
8 ans 1/2	22	2	9,09	19	11	57,8
9 ans	21	4	19	22	19	86,3
9 ans 1/2	11	3	27,1	12	10	83,3

Les seules conclusions que l'on puisse tirer de cette enquête sommaire sont que chez les filles le point olécrânien est déjà apparu à 8 ans et demi (puisqu'on admet comme date d'apparition d'un point osseux la date à laquelle il est présent dans 50 % des cas). Le pourcentage de 57,8 % des cas nous autorise à admettre qu'il vient juste d'apparaître. Nous pouvons donc retenir, chez les filles l'âge de de 8 ans-8 ans et demi.

Chez les garçons, il n'est pas encore apparu à 9 ans et demi dans les cas que nous présentons ; ce n'est évidemment pas à partir de 10 cas que nous pouvons nous permettre de généraliser, mais nous pouvons tout de même retenir son absence dans 80 % des cas à 9 ans.

Ces résultats sont en accord avec ceux de l'Ecole du P^r LELONG : O. JEANNERET, dans son « cadran », donne comme date d'apparition du point olécrânien dans les cas de croissance moyenne : 8 ans chez les filles et 10 ans chez les garçons.

b) *Mensuration.* — Le point olécrânien apparaît parfois sous forme d'un point unique, augmentant de volume régulièrement comme les os du carpe, mais il apparaît aussi souvent sous forme d'une plage d'ossification : deux ou trois points mal délimités qui se réunissent à un moment donné ; dans ces conditions les mesurations sont aléatoires et les risques d'erreur trop grands pour avoir une valeur quelconque.

2. LE POINT CALCANÉEN POSTÉRIEUR.

a) *Date d'apparition.* Voici, sous forme de tableau, le nombre de cas où le centre est présent :

AGE	GARÇONS			FILLES		
	Cas examinés	Présence du point	%	Cas examinés	Présence du point	%
7 ans 1/22	23	10	43,4	26	26	100
8 ans	24	16	66	22	22	100
8 ans 1/2	23	17	73	16	16	100

A 7 ans et demi, le point est déjà apparu chez les filles, sans doute depuis 6 mois ou 1 an, comme nous autorise à le penser le pourcentage de 100 % et chez les garçons il apparaît entre 7 ans et demi et 8 ans. Ces résultats concordent avec l'avance squelettique globale des filles sur les garçons (un an environ à cet âge).

b) *Mensurations.* — Le problème est le même que pour le point olécrânien ; la présence d'une plage d'ossification encore plus diffuse nous a fait abandonner cette technique.

CONCLUSIONS

— Pour les différentes spécialités touchant à la Médecine ou à la Chirurgie infantile, il est une nécessité de connaître de façon précise l'état de développement et de maturité des enfants observés.

— Les *indicateurs de croissance* : taille, poids, etc... ont une valeur relative pour déterminer l'état de développement de l'enfant en ce sens qu'ils ne sont qu'une partie d'un tout qui nous est partiellement inconnu : la stature définitive ; alors que les *signes de maturité* (psychologiques, osseux, dentaires, pubertaires...) ont une valeur absolue puisque tous les enfants atteignent, à une cadence variable, le même degré de maturité, du moins dans les conditions normales.

— Parmi ces signes de maturité, l'état de *maturation osseuse* appréciée sur l'apparition, la croissance et la soudure des centres d'ossifications primaires et secondaires est un des procédés les plus fidèles pour connaître l'état de différenciation tissulaire.

— Cette maturation osseuse est comme la croissance, sous la dépendance de nombreux facteurs, génétiques, endocriniens, nutritionnels et pathologiques.

— De nombreux auteurs ont recherché quelles étaient les méthodes les plus aisées à appliquer et les plus fidèles pour connaître à partir des radiographies du squelette l'état de maturation osseuse. Certaines méthodes utilisent des Atlas donnant des clichés type de l'état d'ossification à chaque âge, d'autres se basent sur le nombre de centres osseux apparus (dans la première enfance) sur la date d'apparition des os (avant 8 ans) et sur la date des soudures diaphyso-épiphysaires (dans l'adolescence), d'autres encore sur l'aspect et la forme de chacun des

os (de la naissance à la fin de l'adolescence) et enfin certaines méthodes dite « métriques » sur les mensurations des os les plus caractéristiques.

— Des résultats des recherches des différents auteurs, il ressort que :

1. Les critères doivent être établis séparément pour les garçons et pour les filles, ces dernières présentant, à âge égal, une avance d'environ 15 %.
2. La radiographie de la main et du poignet d'un seul côté (parfois complétée par une radiographie du coude) est d'une approximation suffisante pour déterminer l'âge squelettique global, les différents segments du squelette subissant le processus d'ossification de façon sensiblement synchrone et symétrique. C'est de plus le moyen le plus pratique, la main étant très accessible et le risque d'irradiation étant très faible.
3. Les publications récentes utilisent conjointement plusieurs méthodes, chacune ayant des indications selon l'âge, et selon le degré de précision nécessaire.
4. Il existe une étroite corrélation entre l'âge squelettique et le développement statural ; il semble donc plus logique de donner les résultats concernant l'âge squelettique en fonction de la taille qu'en fonction de l'âge chronologique.

— La comparaison des différents degrés de maturation ou différents « âges » donne des indications précieuses dans de nombreux cas :

1. Les différences entre *âge chronologique* et *âge osseux* sont considérées comme pathologiques lorsqu'elles excèdent 18 à 24 mois; elles ont alors leur intérêt en pédiatrie et en auxo-endocrinologie aussi bien dans un but diagnostique que pour suivre les résultats de la thérapeutique.
2. En comparant l'*âge civil*, l'*âge squelettique* et la *taille*, certains auteurs ont établi des prévisions concernant la taille définitive.

3. Les asynchronismes entre *âge osseux* et *âge dentaire* sont au niveau des maxillaires, responsables de nombreux troubles orthodontiques.

— La croissance et la maturation osseuse sont sous la dépendance des facteurs génétiques et endocriniens : les différences ethniques jouent un rôle important (directement et par leur influence sur l'âge de la puberté) ; il en résulte que les enquêtes et les résultats d'étude n'ont pas une valeur universelle et que si l'on utilise beaucoup en France les normes anglo-saxonnes, celles-ci ne doivent pas être appliquées sans un correctif préalable.

— Cette dernière constatation nous a conduit à faire un travail sur des enfants *français* âgés de 5 à 11 ans, âge le plus difficile pour déterminer l'état de maturation osseuse, car les centres osseux sont en grande majorité apparus à cette époque et les soudures diaphyso-épiphyssaires se produisent plus tard.

Ce travail personnel est fait à partir de 602 dossiers radiographiques d'enfants choisis parmi 12 000 enfants des écoles lyonnaises. Ces enfants ont été choisis en bonne santé et pour leurs *poids et taille rigoureusement moyens* d'après les critères de l'enquête française de l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques faite en 1950. Chaque âge correspond ainsi à une taille bien définie ; l'âge osseux peut être mis en corrélation, soit avec l'âge chronologique, soit avec la taille.

— Les résultats sont donnés :

1. Sous forme de schémas pris sur les radiographies les plus typiques de chaque classe d'âge, selon la méthode des Atlas, de six mois en six mois de 5 à 11 ans, pour chaque sexe. Les schémas nous ayant paru plus clairs que les radiographies tout en étant aussi exacts. Nous avons en moyenne 25 clichés pour chaque âge et chaque sexe.

2. Nous avons mesuré le plus grand diamètre des 7 os du carpe (pisiforme et sésamoïde du pouce excepté) et les extrémités inférieures du radius et du cubitus. Pour chaque os, la moyenne des mensurations de chaque classe d'âge (calculée à l'aide de la courbe de dispersion de GAUSS donnant la moyenne et l'écart type qui englobe 68,3 % des

populations) nous a permis de tracer un graphique de croissance. Ce graphique, qui se trouve être linéaire (la population étudiée étant très homogène) permet d'attribuer à chaque os du carpe un « âge osseux » ; la moyenne de ces âges représente l'âge squelettique de l'enfant.

Vu, LE DOYEN :
H. HERMANN.

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE :
Ch. FREIDEL.

Vu et permis d'imprimer,
Lyon, le 10 juin 1963.

LE RECTEUR, PRÉSIDENT
DU CONSEIL DE L'UNIVERSITÉ :
P. LOUIS.

BIBLIOGRAPHIE

Nous n'avons colligé dans cette bibliographie que les ouvrages se rapportant soit à la maturation osseuse en général soit à sa détermination par la radiographie de la main.

- ABBOTT O. D., TOWNSEND R. O., FRENCH R. B. et AHMANN C. F. — Carpal and epiphysal Development another index of Nutritional Status of Rural School Children. *Amer. J. Dis Child.*, 79, 69, 1950.
- ACHESON R. M. — Les radiographies des mains en tant qu'index de la maturité du squelette chez le nourrisson. *Arch. Dis. Child.*, août 1952, 27, N° 134, 382-385, 5 tabl. Bibl.
- ACHESON R. M. — A Method of assessing squeletal maturity from radiographs ; A report from the Oxford Child Health Survey. *J. of Anat.*, 88, 498, 1954.
- ACHESON R. M. and HEWITT D. — Oxford Child Health survey. Stature and Skeletal maturation in preschool child. *Brit. J. Prev. Soc. Med.*, 8, 59, 1954.
- ACHESON R. M. et HEWITT D. — Physical development in the English and the American preschool child. A comparison between findings in the Oxford and the Brush Foundation surveys. *Hum. Biol.*, 26, 343, 1954.
- ACHESON R. M., KEMP H. H. et PARFIT J. — Height, Weight and skeletal maturity in the first five years of life. *Lancet*, 268, 673, 1955.
- ACHESON R. M. — La croissance physique. Evaluation de l'ossification. *Bibl. Paed. (Supl. Ann. Paed.)* 1962, 7, N° 79, 59-60.
- ALLAN F. — Allongement osseux. *J. Bone Joint Surg. Aout* 1948, 30-B, N° 3, 490-505, 11 fig. Bibl.
- BAKWIN H. et BAKWIN R. M. — Body builds in infants. *Amer. J. Dis. Child*, 49, 876, 1935.
- BALDWIN B. T. — The physical growth of children from birth to maturity. *Univ. of Iowa Studies Child Welfare*, 1, 167, 1921.
- BALDWIN B., BUSBY L. M., GARSIDE H. V. — Anatomic growth of children. A study of some bones of the hand, wrist and lower forearm, by means of roentgenograms. *Univ. Iowa Study. Child. Welfare*, 4, (1), 1928.
- BARBARA M. — Anthrop. differ. et type constit., Genève, 3, 12, 1955.
- BAYER L., BAYLEY N. — Groth and maturation of a girl with idiopathic precocious puberty. *Stanford med ; Bull ;* 11, 241-252, 1953.

- Growth diagnosis. *University of Chicago Press*. Chicago, 1959.
- Stature prediction in stature control. *Standford Med. Bull.* 7, 130-136, 1949.
- BAYLEY N. — Skeletal maturing in adolescence as e basis for determining percentage of completed growth. *Child. Devel.* 14, 1-46, 1943.
- Size and body build of adolescents in relation to rate of skeletal maturity. *id.*, p. 47-90.
- Tables for predicting adult height from skeletal age and present height. *J. Pediat.*, 28, 49, -64, 1946.
- Some increasing parent-child similarities furing the growth of children. *J. Educ. Psychol.*, 45, 1-21, 1954.
- How children grow. Chapter VII, S. M. Gruenberg ed. *The Encyclopedia of child care and guidance*, p. 753-764 (Doubleday, New York, 1954).
- Growth curves of height and weight by age for boys and girl, scaled according to physical maturity. *J. Pediat.*, 48, 187-194, 1956.
- BAYLEY N. — Individual patterns of development. *Child. Devel.*, 27, 45-74, 1956.
- La croissance physique. Méthode d'évaluation du développement du squelette. *Bibl. paed. (Suppl. Ann. Paed.)* 1962, 7, N° 79, 64.
- BAYLEY N. et PINNEAU S R. — Tables for predicting adult height from skeletal age. *J. Ped.*, 48, 187, 1956.
- BUEHL et PYLE S. I. — *J. Ped.*, 21, 335, 1942.
- CAFFEY J. — X-Ray diagnosis. *Chicago The Year Book. Public.*, 1945.
- CAMP J. D. et CILLEY I. L. — Normal development of roentgenologically important bones and epiphyses. *Amer. J. Roentgenol.*, 26, 905, 1931.
- CARTER Th. M. — Technique and devices used in radiographic study of the wrist bones of children. *J. Educ. psych.*, 17, 237, 1926.
- CAUHÉPÉ J. — Les phénomènes biologiques en orthodontie. *L'Orthodontie française*, 18, 155-173, 1947.
- CHATEAU J. M., CHATEAU M. — Précis d'orthodontie. Prêlat. Ed. Paris.
- CHRISTIE A. — Prêdominance et répartition des centres d'ossification chez le nouveau-nê. *Amer. J. Dis. Child.* mars 1949, 77, N° 3, 355-361.
- CHRISTIE A., DUNHAM E. C., JENSS R. M., DIPPEL A. L. — *Amer. J. Dis. Child*, 61, 471, 1941.
- CLARK D. — *Amer. J. Roentgenol. Radium th.* 35, 752, 1936.
- COTELESSA G. DE TONI E. — *Minerva Pediatr.*, 3,-531, 1951 ; *La Pediatr.* 61, 872, 1953.
- COTELASSA G., DE TONI E. et PYLE. — *Minerva Pediatr.*, 5, 110, 1953.
- DE COSTER L. — Tendances modernes en orthodontie. Contrôle de la croissance de la face. *Orthodontie Française*, 18, 138-173, 1947.
- Le défaut de synchronisme entre la croissance osseuse et l'évolution dentaire comme moment étiologique des malocclusions. *Orthodontie Française*, 15, 243-259, 1938.

- DEGEN S. — Les joints d'ossification du squelette de la main depuis la naissance jusqu'à la maturité. *Med. Klin.*, 14 dec. 1951, N° 50, 1330-1332.
- DE TONI G. — Les méthodes pour l'appréciation de la croissance normale et de la croissance pathologique chez l'enfant et l'adolescent. *Acta Paed.*, 38, 609-622, 1949, Bibl.
- DREIZEN S., SNODGRASSE R. M., WEBB-PEPLOE H., PARKER G. S., SPIES T. D. — Symétrie bilatérale de la paturation osseuse de la main et du poignet. *Amer. J. Dis. Child.*, fevr 1957, 93, N° 2, 122-127, Bibl.
- Les points de maturation de la force et de la faiblesse dans le squelette de la main In cours de développement. *Amer. J. Roentgenol.*, sept. 1959, 82, N° 3, 490-500, 7 fig., Bibl.
- ELGENMARK O. — The normal development of ossific centers during infancy and childbirth. *Acta Paed.*, 33 (Suppl. 1), 1946.
- FANCONI G., LEHRBUCH. — *Der Paed. Bale Stuttgart Benno Schwab C° Lied*, 1956.
- FANTUZZI B. et ZANETTI P. — Des critères du choix des méthodes d'évaluation de l'âge du squelette. *Minerva Ped.*, 28 janv. 1959, 11 ; N° 3-4, 25-28 (Bibl.) (résumé français).
- FISHER R. A. — Les méthodes statistiques adaptées à la recherche scientifique. Paris, Presses Universitaires de France, 1947.
- FLECKER H. — Time of appearance and fusion of ossification center as observed by roentgenographic methods. *Am. J. Roentgenol. Radiantherapy*, 1942, 47, 97-159.
- FLEMING R. — Study of growth and development. *London His Majesty's stat off.*, 1933.
- FLORY C. D. — Osseus development in the hand as an index of skeletal development. *Monogr. Soc. for Research in Child Devel Washington*, Vol. I, N° 3, 1936.
- FRANCIS C. C. — Appearance of center of ossification from 6, 10, 15 years. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1940, 27, 127, 138.
- FRANCIS C. C. — Factors influenceng appearance of centers of ossification during early childhood. *Am. J. Disease Child.*, 1939, 57, 817-830. 1940, 59, 1006-1012.
- FRANÇOIS R., GILLY R. — Diagnostic et traitement des retards de croissance. *Cahiers Médicaux Lyonnais*, 39, N° 4, 1963, p. 377.
- GARN S. — *Amer. J. Phys. Anthropol.*, 14, 327, 1956.
- GARN S. M. et ROHMANN C. G. — Similitudes d'ossification du poignet entre parents et enfants. *Am. J. Dis. Child.*, av. 1962, 103, N° 4, 603-607 (Bibl.).
- GIRDAMY B. R., GOLDEN R. — Centers of ossification of skeleton. *Am. J. Roentgenol. Radumth.*, 1952, 68, 922, 924.
- GRAY H. — Prediction of adult stature. *Child. Develop.*, 19, 167, 175, 1948.

- GREULICH W. W. — The relationship of skeletal status to physical growth and development in children in « dynamic growth process » Symposium of the Ste for the study of development and growth. p. 212. *Princeton University Press*, 1954.
- GREULICH W. W., DORFMAN R. I., CATCHPOLE H. R., SOLOMON C. I., CULOTTA C. S. — Somatic and endocrine studies of puberal and adolescents boys. *Monog. of the Soc. for research in child Devel* (Washington), 7, 3, 1942.
- GREULICH W. W. et PYLE S. I. — Radiographic Atlas of skeletal development of the hand and wrist. *Starford University Press*, New York, 1950.
- GUINET P. — Cours d'endocrinologie à la Faculté de Médecine de Lyon.
- HANSMAN C. F. et MARESH M. M. — Etude au long cours de la maturation squelettique. *Am. J. Dis. Child.*, mars 1961, 101, N° 3, 305-321, 6 fig. (Bibl.).
- HANSMAN C. F. — Apparition et fusion des centres d'ossification dans le squelette humain. *Am. J. Roentgen, radiumther. and nuclear medicine*, sept. 1962, 88, N° 3, 476-483.
- HABIB E. — Taille, poids, évolution dentaire. Date d'apparition des principaux points d'ossification de l'enfant normal. *Rev. Praticien*, 21 nov. 1954, 4, N° 30, 2835-2842.
- HATTEMER W. N. — L'intérêt de la radiographie du poignet en orthopédie dento-faciale. *Rev. franç. Odonto-Stomat.*, av. 1959, 6, N° 4, 528-536, 12 fig.
- HELMANN M. — Ossification of epyphyseal cartilage in the hand. *Amer. J. Phys. Anthropol.*, 11, 223, 1928.
- HATTEMER W. N. — L'intérêt de la radiographie du poignet en Orthopédie Dento-Faciale. *Rev. Fr. d'Od. Stomatologie.*, iv, N° 4, p. 258-536, 1959.
- HERSOG K. H. — La morphologie du poignet. *Brun's Beitr. Klin. Chir.*, 1960, 200, N° 1, 33-49, 15 fig. (Bibl.) (résumé français).
- HEWITT D., WESTROPP L. K., ACHESON. — Oxfordchild health survey effect of childish aliments on skeletal development. *Brit. J. Prev. and Social Med.*, 1955, 9, 179-186.
- HODGES P. C. — An epiphyseal chart. *Amer. J. Roentgenol.*, 30, 809, 1933.
- JEANNERET O. — Etudes statistiques sur la maturation osseuse de la main et du poignet d'après les radiographies de 315 jeunes Français normaux âgés de 8 à 14 ans. *Mém. Assist. Etranger Fac. Med. Paris*, 38 p. dactyl., 1957.
- Une méthode simplifiée pour évaluer la maturation osseuse en clinique de la naissance à 18 ans. *Médecine et Hygiène* (Genève), 16, 1958 et 334, 1958.
- KEITER F. — Le pronostic constitutionnel anthropométrique de l'enfant à l'adulte. *Deutsche med. Wschr.*, 18 mai 1951, N° 20, 666-668.

- KELLY H. J. — Anatomical age and its relations to stature. *Univ. Iowa Studies in child welfare*. Iowa City, 12, 1937.
- KELLY et MACY I. G. — Roentgenographic appraisal of skeletal growth and development. *Amer. J. Roentgenol.*, 80, 482-494, 1958.
- KELLY et REYNOLDS L. — Appearance and growth of ossification centers and increases in the body dimensions of white and negro children. *Amer. J. Roentgenol. et Radiumth.*, 57, 477, 1947.
- KROGMAN W. M. — The skeleton in forensic medicine. *Proc. Inst. Med. Chicago*, 16, 154, 1946.
- KROGMAN W. M. — The physical growth of children an appraisal of studies, 1950-1955. *Monogr. of the Soc. for Research in child Development. Inc.*, vol. XX, série 60, N° 1, 1955.
- LEFREVRE J., KOIFMANN A. — Etude de l'apparition des points osseux secondaires et la détermination de l'âge osseux. *Arch. Franç. Ped.*, 13, 1101, 1956.
- LELONG M., JOSEPH R., CANLORBE P., BORNICHE P., JEANNERET O. — Une méthode simplifiée d'évaluation de la maturation osseuse. *Arch. franç. Ped.*, 15, 449, 1958 (Bibl.).
- LELONG M., JOSEPH R., CANLORBE P., SCHOLLER R. — *Arch. Fr. Ped.*, 11, 47, 1954 ; *Sem. Hôp. Paris, Ann. Ped.*, 31, 1067, p. 164, 1955 ; *Sem. Hôp. Paris, Ann. Ped.*, 31, 1073, p. 169, 1955 ; *Sem. Hôp. Paris, Ann. Ped.*, 33, 2722, p. 430, 1957.
- LEONARD D. W. — Early Recognition of endocrine disorders in childhood by roentgenograms of the wrist to determine the ossification index. *Am. J. Roentgen.*, 53, 55-61, 1945.
- LONG E., CALDWELL E. W. — Some Investigations concerning the Relation between carpal ossification and physical and mental development. *Amer. J. Dis. Child.*, 1-113, 1911.
- MACY I. G. — Nutrition and chemical growth in childhood. Vol I, II et III : Evaluation, original data, calculated data Ch. C. Thomas, Publisher, Springfield, Illinois, 1942, 1946, 1951.
- MAINLAND D. — Appréciation de la méthode de l'âge du squelette pour évaluer le développement de l'enfant. *Pediatrics*, août 1953, 12, N° 2, 114-129.
- MAINLAND D. — Estimation du développement des enfants par la méthode de l'âge du squelette. *Pediatrics*, dec. 1957, 20, N° 6, 979, Bibl.
- MANN, DREIZEN, PYLE. — The red-graph and the Wetzel grid as a method of determining the symmetry of status and progress during growth. *J. Ped.*, 32, 137, 1948.
- MASSART R. — Croissance et ossification normale. *Encyclop. Med. Chir. Radio.*, 1, 30, 900, AIO, BIO, DIO, 9, 1956.
- MASSE G. — La croissance physique. Evaluation du développement osseux chez les enfants Dakarois. *Bibl. Paed. (Suppl. Ann. Paed.)*, 1962, 7, N° 79, 60-63, 199-202.

- MELLMAN W. J., BONGIOVANNI A. M., HOPE J. W. — Utilité diagnostique de la maturation osseuse pour l'observation d'enfants dans une clinique pour affections endocriniennes. *Pediatrics*, mars 1959, 23, N° 3, 530-544, Bibl.
- MILMAN D. H., BAKWIN H. — Ossification of the metacarpal and metatarsal centers as a mesure of maturation. *J. Ped.* 36, 617-620, 1950.
- MICHON R. L. — Contribution à l'étude radiologique de l'ossification du squelette et la détermination de l'âge d'un être humain. *Mem. Certif. Etudes Spec. Electro-Radiol.* Dactyl. 44 p. ; Paris, 1951.
- MORICE E., TISSERAND M., REBOUL J. — Les méthodes statistiques en médecine et biologie. Paris, Masson, 1947.
- PARK E. A. — La croissance osseuse chez l'enfant sain et l'enfant malade. *Arch. Dis. Child.*, août 1954, 29, N° 146, 269-281, Bibl.
- PETERMAN M., FREY W., KASTER J. — Valeur des radiographies du poignet dans un service de pédiatrie. *Amer. J. Dis. Child.*, mai 1948, 75, N° 5, 671-687.
- PRADER A., PERABO K. — *Helv. Paediat. Acta.*, 7, 517, 1952.
- PRESCOTT D. A. — The determination of anatomic age in schoolchildren and its relations to mental development. *Harvard Monographs in Education*, Série I, N° 5, Cambridge (Mass.). *Harvard Univ. Press.*, 1923.
- PRYOR J. W. — Development of bones of hand as shown by X-Ray method. *Bull. St Colle Kentucky*, Ser. II, N° 5.
- The chronology and order of ossification of the bones of the human carp. *Bull. Univ. Kentucky*, 1, 1908.
- Some observations on the ossification of the bones of the hand. *Bull. Univ. Kentucky*, 8, 1916.
- Time of ossification of bones of hand in male and female and union of epiphyses with diaphyses. *Amer. K. Physical Anthropol.*, 1025, 8, 401-410.
- Bilateral symmetry as seen in ossification. *Amer. J. Anat.*, 58, 87, 1936.
- PYLE S. I., HOERR N. L. — Radiographic Atlas of skeletal development of the knee. A standard of reference. Ch. Thomas Publ. Springfield, III, 1955.
- PYLE S. I., MANN A. W., DREIZEN S., KELLY H. J., MACY I. G., SPIES T. D — Substitute for skeletal age (Todd) for clinical use : red graph method. *J. Ped.*, 32, 125, 1948.
- PYLE S. I., SONTAG L. W. — Variability in onset of ossification in epiphyses and short bones of the extremities. *Am. J. Roentgenol. and Radiumth.*, 49, 795, 1943.
- PYLE I. C., REED R. B., STUART H. C. — Tracés du développement du squelette de la main. *Pediatrics*, I, 24, N° 5 (deuxième partie), 886-903, 1959, Bibl.

- REILLY. — Some endocrine observations on advanced ossification in children. *Endocrinology*, 18, 117, 1934.
- ROCHLIN D. G. — Röntgensoteologie und Röntgenanthropologie. *Mockba Biomedzig*, 1936.
- ROBINOW M. — Apparition des centres d'ossification. *Amer. J. Dis. Child.*, 64, N° 2, 229-236, 1942.
- ROBINOW M., GARN S. M., ROHMAN C. — La place des facteurs génétiques dans le développement physique des enfants est étudiée à l'occasion des dates d'apparition des points d'ossification du poignet. *Amer. J. Dis. Child.*, 100, N° 4, 628, 1960.
- ROCHE A. F., SUNDERLAND S. — Les centres d'ossification multiples dans les épiphyses des os longs de la main et du pied. *J. Bone Joint Surg.*, mai 1959, 41-B, N° 2, 375-383, Bibl.
- ROTCH T. M. — Comparison in boys and girls of height, weight and épiphysal development. *Trans Amer. Pediat. Soc.*, 22, 36-38, 1910.
- SAWTELL R. O. — Ossification and growth of children from onte to eight years of age. *Amer. J. Dis. Child.*, 37, 61, 1929.
- SCHMID F. et MOLL H. — Atlas der Normalen und Pathologischen Hand-skeleten-Wicklung. Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1960.
- SCHOLLER R. J. — Les méthodes d'étude et d'évaluation de la croissance infantile. *Thèse*, Paris, juillet 1956, N° 893, 171 p., 52 fig., 6 tabl.
- SCOTT L. H. — The longitudinal study of individual development. The Merril-Palmer-School, Detroit, 1955.
- SHELTON E. K. — Roentgenographic studies in normal osseous development. *J. Amer. Med. Ass.*, 96, 759, 1931.
- SHEPARDSON H. C. — The importance of roentgenographic studies of osseous development in endocrine diagnosis. *Radiology*, 26, 685, 1936.
J. Ped., 22, 518, 1943.
- SHROEDER G. — Variantes de l'ossification de nombreuses épiphyses des
- SHUTTLEWORTH F. K. — Sexual maturation and the skeletal growth of girls age six to nineteen. *Monogr. Soc. Res. Child Develop.*, 3, N° 5, 1938.
- SIMMONS K. — The Brush foundation Study of Child Growth and devel. Physical growth and develom. *Monogr. of the Soc. for research in child develop.*, Washington, 9, N° 1, 1942.
- SIMMONS S. K. and GRULICH W. W. — Menarchial age and the eight, weight, and skeletad age of girl age seven to seventeen years. phalanges. *Radiologia clin.*, mars 1959, 28, N° 2, 111-116, Bibl.
- STUART H. C. and STEVENSON S. S. — Physical growth and development in W. E. Nelson Textbook of pediatrics Philadelphia and London. W. B. Sanders Company, 1955.

- STUART H. C., PYLE S. I., CORONI J., REED R. B. — Installation, réalisation et mesure du temps nécessaire pour l'ossification de 29 points de croissance osseuse de la main et du poignet. *Pediatrics*, 29, N° 2, 237-249, fév. 1962, Bibl.
- TANNER J. M. — Evaluation de l'ossification. La croissance physique. *Bibl. Paed. (Suppl. Ann. Paed.)*, 1962, 7, N° 79, 1962, p. 56.
- TANNER J. M., WHITEHOUSE R. H. — Note of present status of Tanner-Whitehouse standards of bone age. *M. S. International Children's Centre*, Paris, 1952.
- TANNER J. — Growth and adolescence. Oxford Blackwill Scientific Publication, 1955.
- TODD T. W. — Atlas of skeletal maturation I. The Hand. C. V. Mosby and Co., St-Louis, 1937.
- Comparative youth, physical aspect. *Child Development*, 1, 79-89, 1930.
- Anatomical features of epiphyseal union. *Child Devel.*, 1, 186-195, 1930.
- TONI DE, TARATETA A. — Premiers résultats de l'évaluation de l'âge du squelette du genou chez les dysauxiques et les auxopathiques. *Minerva ped.*, 8 dec., 9, 1957, N° 49, 1541-1542.
- TUPMAN G. S. — Une étude de la croissance osseuse chez les enfants normaux et ses rapports avec la maturation du squelette. *J. Bone Joint Surg.*, fév. 1962, 44-B, N° 1, 42-67, Bibl.
- VAN GEMUND J. J. — La croissance physique. Le développement dentaire. *Bibl. Paed. (Suppl. Ann. Paed.)*, 7, N° 79, 1962, p. 54-55.
- VICKERS-HARDINGS V. S. — A method of evaluating osseous development from birth to 14 years. *Child Develop. Radiology*, 31, 441, 1938.
- VOGT E. C., VICKERS V. S. — Osseous growth and development. *Radiology*, 31, 441, 1938.
- WALLIS R. S. — How children grow. *Studies on child Welfare, Iowa City, Univ. of Iowa*, 5, N° 1, 1931.
- WILKINS L. — The diagnosis and treatment of endocrine disorders in childhood and adolescence. C. C. Thomas Springfield (Ill), 2° éd., 1957.

TABLE DES MATIERES

HISTORIQUE	19
GÉNÉRALITÉS	23
Les indicateurs de croissance	24
Les indicateurs de maturation	25
INTÉRÊT DE LA DÉTERMINATION DE LA MATURATION OSSEUSE	29
I. — En pédiatrie et en Auxo-endocrinologie	29
II. — En orthopédie générale	31
III. — En orthopédie dento-maxillo-faciale	32
INTÉRÊT DE LA COMPARAISON DES DIFFÉRENTS « AGES »	33
Age civil, Age statural, Age osseux (prédiction de la taille)	33
Age civil, Age osseux, Age dentaire (étiologie de lésions maxillo-faciale)	37
FACTEURS INFLUENÇANT LA CROISSANCE ET LA MATURATION OSSEUSE ..	41
Facteur génétique	41
Facteur hormonal	42
Facteurs d'environnement (nutritionnels)	44
Facteurs pathologiques	46
LES DIFFÉRENTES MÉTHODES D'ÉVALUATION DE LA MATURATION OSSEUSE	47
Classification	47
Méthode qualitative (GREULICH et PYLE, Cl.-C. HOWARDJ)	48
Méthode quantitative (SONTAG, ELGENMARK, LEFÈVRE et KOIFMANN)	51
Méthode chronologique (WILKINS, VICKERS-HARDING)	55
Méthode descriptive (GREULICH et PYLE, ACHESON, TANNER)	57
Méthode métrique (SCHMID et MOLL)	66
Méthode mixte (JEANNERET, CHATEAU)	68
DISCUSSION ET CRITIQUE DES DIFFÉRENTES MÉTHODES	73
COMPARAISON DES RÉSULTATS	83
PRÉSENTATION DE NOTRE TRAVAIL PERSONNEL	87
Radiographie du poignet entre 5 et 11 ans	87
Radiographie du coude de profil et du pied	100
Résultats	101
CONCLUSIONS	103
BIBLIOGRAPHIE	107

